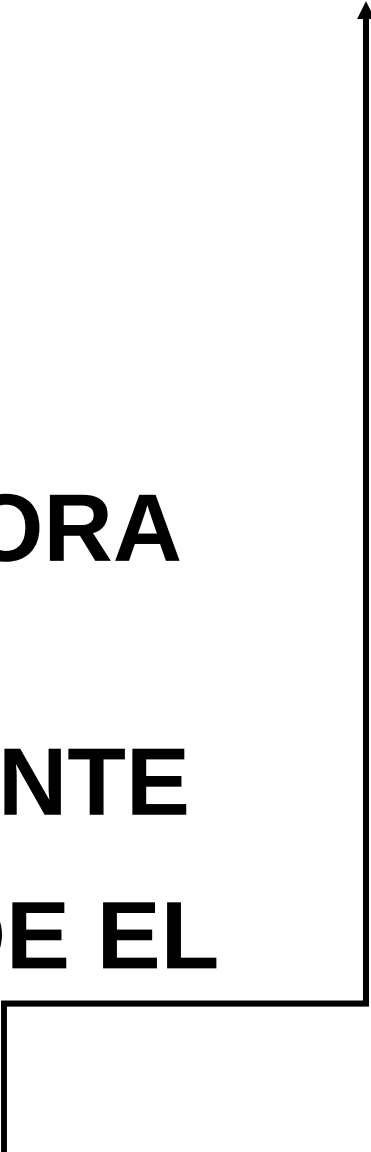


**HOJA SEPARADORA
DEJADA
INTENCIONALMENTE
LE CORRESPONDE EL
FOLIO**



Proyecto Mina de Cobre Panamá

ANEXO XXIX

Métodos de la Evaluación de Calidad de Aire

Enviado a:

Minera Panamá S.A.

Setiembre 2010

07-1334-0018

TABLA DE CONTENIDO

<u>SECCIÓN</u>	<u>PÁGINA</u>
1 INTRODUCCIÓN	1
2 ENFOQUE DEL MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN	2
2.1 SELECCIÓN DEL MODELO	2
2.2 RECEPTORES	4
2.3 MÉTODOS DE CONVERSIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO A DIÓXIDO DE NITRÓGENO	4
2.4 OPCIONES DE MODELO	6
3 DISPERSIÓN METEOROLÓGICA	17
3.1 DATOS DEL MODELO CALMET	17
3.1.1 Modelo de Mesoescala de Quinta Generación de NCAR/Universidad Estatal de Pensilvania	17
3.1.2 Parámetros Geofísicos	18
3.1.2.1 Categorías de Uso de la Tierra	18
3.1.2.2 Topografía del Terreno	21
3.1.3 Opciones del Modelo CALMET	21
3.2 RESULTADOS DEL MODELO CALMET	34
3.2.1 Viento	34
3.2.2 Altura de Mezcla	38
3.2.3 Clase de Estabilidad	41
4 EMISIONES	44
4.1 PUERTO	44
4.1.1 Chimenea de las Calderas a Carbón	44
4.1.2 Chimenea del Incinerador de Residuos del Campamento	46
4.1.3 Chimeneas del Removedor de partículas de Concentrado	46
4.1.4 Chimeneas del Removedor de partículas de Carbón	46
4.1.5 Escape de las Embarcaciones Marinas	47
4.1.6 Tráfico vehicular en la Carretera a la Costa	47
4.1.7 Supuestos y Métodos Para el Cálculo de las Emisiones	48
4.2 MINA	52
4.2.1 Tubos de Escape de la Flota Minera	53
4.2.2 Voladuras	54
4.2.3 Trabajos de Terreno	54
4.2.4 Polvo del Camino	54
4.2.5 Erosión Eólica de las Áreas o Depósitos de Almacenamiento	55
4.2.6 Chimenea del Incinerador de Residuos del Campamento	55
4.2.7 Supuestos y Métodos Utilizados para el Cálculo de las Emisiones	55
4.3 RESUMEN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS DEL PROYECTO Y DATOS DE LAS FUENTES	61

5	PRONÓSTICOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE.....	64
5.1.1	Pronósticos a Nivel Regional	64
5.1.2	Pronósticos Para los Receptores Sensitivos.....	79
5.1.2.1	Compuestos Asociados a los Criterios	79
5.1.2.1	Otros Compuestos Traza.....	82
6	ESCENARIOS ADICIONALES MODELADOS	97
7	BIBLIOGRAFÍA.....	99

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1	Receptores Sensitivos.....	5
Tabla 2-2	Opciones de Entrada del Modelo CALPUFF	8
Tabla 3-1	Parámetros Geofísicos Usados en el Modelo CALMET	21
Tabla 3-2	Opciones de Entrada del Modelo CALMET	22
Tabla 4-1	Resumen de los Criterios Asociados a las Emisiones.....	45
Tabla 4-2	Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base para el Puerto	48
Tabla 4-3	Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base Para la Mina	56
Tabla 4-4	Tabla de Resumen de las Emisiones del Proyecto	62
Tabla 4-5	Caracterización de las Emisiones de las Fuentes Puntuales del Proyecto	63
Tabla 4-6	Caracterización de las Emisiones de Fuentes de Área del Proyecto	63
Tabla 5-1	Resumen de los Pronósticos Sobre la Calidad del Aire en el Área de Evaluación de Efectos	64
Tabla 5-2	Concentraciones Previstas de Dióxido de Azufre en los Receptores Sensitivos.....	79
Tabla 5-3	Concentraciones Previstas de Dióxido de Nitrógeno en los Receptores Sensitivos.....	80
Tabla 5-4	Concentraciones Previstas de Material Particulado en los Receptores Sensitivos.....	81
Tabla 5-5	Concentraciones Previstas de Monóxido de Carbono en los Receptores Sensitivos.....	82
Tabla 5-6	Concentraciones Previstas de los Compuestos Orgánicos Volátiles en los Receptores Sensitivos.....	83
Tabla 5-6	Concentraciones Previstas de los Compuestos Orgánicos Volátiles en los Receptores Sensitivos (continuación)	84
Tabla 5-7	Concentraciones Máximas de 1 Hora de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Previstas en los Receptores Sensitivos	85
Tabla 5-7	Concentraciones Máximas de 1 Hora de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Previstas en los Receptores Sensitivos (continuación)	86
Tabla 5-8	Concentraciones Máximas de 24 Horas de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Previstas en los Receptores Sensitivos	87
Tabla 5-8	Concentraciones Máximas de 24 Horas de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Previstas en los Receptores Sensitivos (continuación)	88
Tabla 5-9	Concentraciones Promedio Anuales de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Previstas en los Receptores Sensitivos	89

Métodos de Evaluación de la Calidad del Aire

Tabla 5-9	Concentraciones Promedio Anuales de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Previstas en los Receptores Sensitivos (continuación).....	90
Tabla 5-10	Concentraciones Máximas de 1 Hora de Metales Previstas en los Receptores Sensitivos	91
Tabla 5-10	Concentraciones Máximas de 1 Hora de Metales Previstas en los Receptores Sensitivos (continuación).....	92
Tabla 5-11	Concentraciones Máximas de 24 Horas de Metales Previstas en los Receptores Sensitivos	93
Tabla 5-11	Concentraciones Máximas de 24 Horas de Metales Previstas en los Receptores Sensitivos (continuación).....	94
Tabla 5-12	Concentraciones Promedio Anuales de Metales Previstas en los Receptores Sensitivos.....	95
Tabla 5-12	Concentraciones Promedio Anuales de Metales Previstas en los Receptores Sensitivos (continuación)	96
Tabla 6-1	Concentraciones Previstas de Dióxido de Azufre para el Escenario del Sistema de Desulfuración de Gases de Combustión Inactivo	97
Tabla 6-2	Concentraciones Previstas de Dióxido de Azufre en los Receptores Sensitivos para el Escenario del Sistema de Desulfuración de Gases de Combustión Inactivo	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1	Comparación de Las Temperaturas Observadas y Derivadas del Modelo MM5	19
Figura 3-2	Comparación de las Velocidades del Viento Observadas y Derivadas del Modelo MM5	20
Figura 3-3	Rosas de los Vientos Derivadas del Modelo CALMET para el Puerto	35
Figura 3-4	Rosas de los Vientos Derivadas del Modelo CALMET para la Mina	36
Figura 3-5	Comparación de las Velocidades Diurnas del Viento en el Puerto	37
Figura 3-6	Comparación de las Velocidades Diurnas del Viento en la Mina	38
Figura 3-7	Alturas de Mezcla Derivadas del Modelo CALMET para el Puerto	39
Figura 3-8	Alturas de Mezcla Derivadas del Modelo CALMET para la Mina	40
Figura 3-9	Clases de Estabilidad Pasquill-Gifford Derivadas del Modelo CALMET para el Puerto	42
Figura 3-10	Clases de Estabilidad Pasquill-Gifford Derivadas del Modelo CALMET para la Mina	43
Figura 5-1	Concentraciones Máximas Previstas de Dióxido de Azufre de 1 Hora	67
Figura 5-2	Concentraciones Máximas Previstas de Dióxido de Azufre de 24 Horas	68
Figura 5-3	Concentraciones Promedio Anuales Previstas de Dióxido de Azufre	69
Figura 5-4	Concentraciones Máximas Previstas de Dióxido de Nitrógeno de 1 Hora	70
Figura 5-5	Concentraciones Máximas Previstas de Dióxido de Azufre de 24 Horas	71
Figura 5-6	Concentraciones Promedio Anuales Previstas de Dióxido de Nitrógeno	72
Figura 5-7	Concentraciones Máximas Previstas de Partículas Suspendidas Totales de 24 Horas	73
Figura 5-8	Concentraciones Promedio Anuales Previstas de Partículas Suspendidas Totales	74
Figura 5-9	Concentraciones Previstas de PM ₁₀ del Percentil 98 de 24 Horas	75
Figura 5-10	Concentraciones Promedio Anuales Previstas de PM ₁₀	76
Figura 5-11	Concentraciones Previstas de PM _{2.5} del Percentil 99 de 24 Horas	77
Figura 5-12	Concentraciones Promedio Anuales Previstas de PM _{2.5}	78

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento brinda al lector información sobre la evaluación de los efectos en la calidad del aire asociados al Proyecto propuesto. Este anexo constituye un suplemento para la evaluación de la calidad del aire presentada en el Capítulo 9, Sección 9.12 de la evaluación del impacto ambiental (EsIA). Se debe leer este documento junto con otros relacionados con el tema del aire, los cuales se presentan en el Capítulo 6, Secciones 6.5 (Clima) y 6.7 (calidad del aire ambiental). Este anexo contiene la siguiente información:

- una descripción de los métodos de modelamiento de dispersión, incluyendo las ubicaciones de los receptores y meteorología para el modelo de dispersión;
- información utilizada para determinar las emisiones atmosféricas derivadas de las fases de operación de la mina, la planta de generación de energía y el puerto;
- los pronósticos sobre la calidad del aire con respecto al dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas totales (PST), material particulado con un diámetro inferior a 2.5 µm (PM_{2.5}), material particulado con un diámetro inferior a 10 µm (PM₁₀), compuestos orgánicos volátiles (COV) seleccionados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) seleccionados y metales traza seleccionados; y
- pronósticos sobre la calidad del aire con respecto a otros escenarios no evaluados en la EsIA.

2 ENFOQUE DEL MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN

Esta sección proporciona información detallada sobre el enfoque utilizado para el modelamiento de dispersión del aire, incluyendo la selección del modelo de dispersión, la selección de las ubicaciones de los receptores y los algoritmos químicos para convertir los óxidos de nitrógeno (NO_x) en NO_2 .

2.1 SELECCIÓN DEL MODELO

Los modelos de dispersión del aire constituyen herramientas predictivas que utilizan información disponible relacionada con las emisiones de las instalaciones y las condiciones meteorológicas para calcular las posibles concentraciones a nivel del suelo. El modelo de dispersión seleccionado para la evaluación de la calidad del aire deberá cumplir con las condiciones y análisis clave detallados a continuación:

- evalúa los distintos tipos de fuente existentes en el Proyecto (es decir, fuentes puntuales y de área);
- pronostica las concentraciones a nivel del suelo necesarias para distintos periodos promedio (es decir, 1 hora, 24 horas y anuales);
- simula la deposición y el barrido de partículas de la atmósfera;
- simula la transformación química de los compuestos de azufre y nitrógeno necesaria para la predicción de los materiales particulados secundarios; y
- posee una base técnica científicamente confiable y que esté de acuerdo con el entendimiento actual de los procesos de dispersión que ocurren en la atmósfera.

Los modelos de dispersión numérica simplifican la turbulencia y los movimientos atmosféricos a pequeña escala, lo cual limita su capacidad para reproducir eventos individuales. Por lo tanto, estos modelos deben predecir los patrones de concentración y deposición de un grupo determinado de parámetros meteorológicos. Además, el modelamiento no acepta las variaciones que pudieran ocurrir de una a otra hora durante el periodo de vida del Proyecto.

Se determinó que el Modelo de la Pluma de Dispersión de California (CALPUFF), dinámico o tridimensional (3D), era el modelo más adecuado para evaluar las emisiones atmosféricas del Proyecto. Éste presenta una serie de ventajas que lo convierten en el modelo ideal:

- es adecuado para fuentes puntuales, de línea, área y volumen variables en el tiempo;

- es adecuado para el modelamiento de áreas que abarcan desde decenas de metros hasta cientos de kilómetros de una fuente;
- pronostica promedios para periodos que van desde una hora hasta un año.
- incorpora los efectos *building downwash* (inversión del flujo por presencia del edificio de la fuente);
- es capaz de incorporar los efectos de corte del viento;
- es aplicable a los contaminantes inertes así como a aquellos sujetos a mecanismos de conversión química y extracción lineal; y
- puede ser utilizado en terrenos complejos.

Otras ventajas de este modelo en comparación con los modelos de pluma de dispersión tradicionales incluyen:

- capacidad para modelar vientos de baja velocidad;
- la dispersión de la pluma es finita y se conserva la masa contaminante;
- capacidad para utilizar campos meteorológicos tridimensionales desarrollados por Computer Aided Learning in Meteorology (CALMET) o modelos similares;
- capacidad para incorporar los resultados del modelo de mesoescala (por ejemplo, MM5) para complementar los datos in situ o locales;
- existen múltiples esquemas disponibles para el cálculos de los coeficientes de dispersión, incluyendo mediciones directas de la turbulencia y/o la teoría de similitud; y
- capacidad para evaluar la recirculación y las condiciones del flujo de drenaje por gravedad.

El sistema de modelamiento CALPUFF consta de tres componentes:

- CALMET –paquete de modelamiento meteorológico con generadores de campos de viento de diagnóstico y pronóstico.
- CALPUFF – modelo Gaussiano de dispersión de “*puffs*” con remoción química, deposiciones secas y húmedas, algoritmos de terreno complejo, *building downwash*, fumigación de la pluma y otros efectos.
- CALPOST – programa de post-procesamiento para los campos de resultados de datos meteorológicos, concentraciones y flujos de deposición.

2.2 RECEPTORES

El modelamiento de las concentraciones a nivel del suelo y las tasas de deposición se llevó a cabo en determinados puntos del dominio del modelamiento. Estas ubicaciones (denominadas receptores) se distribuyen de la siguiente manera:

- espacio de 50 metros (m) dentro de 0.5 kilómetros (km) de las fuentes de interés (es decir, la planta de generación de energía, el puerto y la planta procesadora de la mina)
- espacio de 250 m dentro de 2 km de las fuentes de interés;
- espacio de 500 m dentro de 5 km de las fuentes de interés; y
- espacio de 1,000 m en el resto del dominio.

Asimismo, se colocó receptores adicionales con un espacio de 40 m a lo largo del área de desarrollo del Proyecto (ADP) alrededor del puerto y la mina.

También se colocó receptores adicionales en determinadas comunidades de la región así como en determinadas áreas de interés para la evaluación de riesgos para la salud humana y la ecología (HHERA). Los receptores modelados son presentados en la Tabla 2-1 y representados gráficamente en el Mapa 2-1.

2.3 MÉTODOS DE CONVERSIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO A DIÓXIDO DE NITRÓGENO

Las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) generadas por las fuentes de combustión son una mezcla de óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2). El óxido nítrico (NO) es un componente inestable y reacciona en la atmósfera para formar NO_2 . Debido a que los estándares de calidad del aire ambiental (ver EsIA, Sección 9.12.3.3) se basan en las concentraciones de NO_2 , es importante calcular la fracción de NO que se transformó en NO_2 .

Tabla 2-1 Receptores Sensitivos

Receptor	Distancia Desde el Puerto [km]	Dirección Desde el Puerto	Distancia Desde la Mina [km]	Dirección Desde la Mina
Río Caimito	1.7	NE	20.9	N
ERA4	8.9	SSE	11.1	N
Palmilla	15.3	SW	16.7	WNW
Nueva Lucha	13.1	SSW	10.7	NW
Parralito	16.3	S	6.4	NW
Nuevo Sinaí	14.5	SSE	7.5	NNE
San Benito	20.9	SSE	5.1	E
Los Molejones	25.5	SSE	6.0	SSE
Coclesito	26.8	SSE	12.1	ESE
HERA_1	10.1	ESE	17.0	NNE
HERA_2	17.7	SE	12.9	NE
HERA_3	21.4	S	4.7	WSW

Nota: Las ubicaciones se miden desde el centro del puerto y el centro de la planta procesadora de la mina; km = kilómetro; S = sur; SE = sudeste; SSE = sur-sudeste; SW = sudoeste; SSW = sur-sudoeste; N = norte, NW = noroeste; NNW = nor-noroeste; NE = noreste; NNE = nor-noreste; ESE = este-sudeste; WNW = oeste-noroeste; WSW = oeste-sudoeste; ERA4 = Área de Evaluación del Riesgo para la Salud Humana y la Ecología 4; HERA_1 = Área de Evaluación del Riesgo para la Salud Humana y la Ecología 1; HERA_2 = Área de Evaluación del Riesgo para la Salud Humana y la Ecología 2; HERA_3 = Área de Evaluación del Riesgo para la Salud Humana y la Ecología 3.

Uno de los métodos que permite determinar la fracción de NO que se convirtió en NO₂ es el método de limitación de ozono (OLM, por sus siglas en inglés). El método OLM asume que aproximadamente 10 por ciento de las emisiones de NO_x se presentan en la forma de NO₂, mientras que el resto se encuentra en la forma de NO. Se asume que el NO reacciona rápidamente con los niveles ambientales de ozono (O₃) para formar NO₂ adicional. La siguiente fórmula de OLM se basa en el trabajo de Cole y Summerhays (1979):

$$[NO_2] = [O_3] + 0.1 \times [NO_x]$$

donde:

[NO₂] = es la concentración de dióxido de nitrógeno [partes por millón (ppm)]
 [O₃] = es la concentración de ozono en el ambiente [ppm]
 [NO_x] = es la concentración de óxidos de nitrógeno [ppm]

Puesto que no existen datos sobre el ozono específicos para el área, se utilizó las mediciones de ozono de la capa límite en Centroamérica (Sanhueza et al. 2000). Sanhueza sostiene que las concentraciones de ozono más altas se registraron durante la época de estiaje en todas las estaciones marinas, costeras y continentales (20 a 30 partes por mil millones en volumen [ppbv]), mientras que las concentraciones más bajas se registraron durante la época de lluvias (13 a 17 ppbv). Para la presente evaluación, las concentraciones de NO_2 de 1 hora, 24 horas y anuales fueron calculadas utilizando valores de ozono de 30, 20 y 15 ppbv, respectivamente.

2.4 OPCIONES DE MODELO

El modelo de dispersión CALPUFF es una herramienta sofisticada que utiliza un gran número de opciones especificadas por el usuario. La selección de opciones a utilizarse en el análisis requiere el entendimiento de los algoritmos subyacentes del modelo en profundidad.

Los valores predeterminados de varias opciones de modelamiento fueron modificados por los motivos que se detallan a continuación.

El modelamiento de la cortante vertical del viento se realizó por encima de la parte superior de la chimenea ($\text{MSHEAR}=1$), permitiendo así distintas tasas de dispersión y transporte en los puffs individuales. Esto podría provocar un incremento en la tasa de crecimiento horizontal de la pluma bajo determinadas condiciones. Este aspecto también es importante en el caso de la división de *puffs*, acción que se puede realizar en el modelo ($\text{MSPLIT}=1$). Cuando el corte del *puff* se vuelve considerable, éste puede dividirse en dos ($\text{NSPLIT} = 2$). Cada uno de los *puff* resultantes es transportado y dispersado de manera independiente por la velocidad y dirección promedio del viento.

El esquema RIVAD/ARM3 es utilizado para la transformación química en lugar del método MESOPUFF II predeterminado. El método RIVAD/ARM3 realiza el modelamiento del óxido nítrico (NO) y NO_2 por separado, mientras que el método MESOPUFF II modela el NO_x total.

Los coeficientes de dispersión son calculados internamente utilizando la teoría de similitud y variables micrometeorológicas en lugar del método de aproximación de segmentos múltiples del modelo Industrial Source Complex (ISC3) predeterminado. La teoría de similitud es un método más sofisticado y preciso para determinar los coeficientes de dispersión.

La función de densidad de probabilidad (FDP) es utilizada para llevar a cabo la dispersión durante condiciones convectivas ($\text{MPDF} = 1$). Este método es más realista que el método Gaussiano de distribución.

El número máximo de *puffs* generados por una fuente durante un intervalo de tiempo es 50 (MXNEW = 50). Este número fue elegido como un valor de rango medio entre 5, el cual fue utilizado en EslA previos, y el valor predeterminado de 99.

Los coeficientes de dirección de la pluma (PPC) se basaron en los parámetros recomendados por Angle y Sakiyama (1991) así como por Lott (1984, 1986) para ser utilizados en Alberta.

El valor de base del ozono de 20 partes por mil millones (ppb) fue seleccionado tomando como base las afirmaciones de Sanhueza et al. (2000).

La Tabla 2-2 presenta un resumen detallado de las opciones de entrada y salida, las opciones de dispersión, los mecanismos químicos seleccionados y otros parámetros utilizados en el proceso de modelamiento que se llevó a cabo para el Proyecto. La tabla compara las opciones seleccionadas para la presente evaluación con los valores predeterminados recomendados en los Estados Unidos.

Tabla 2-2 Opciones de Entrada del Modelo CALPUFF

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
Grupo 1 Parámetros de control de funcionamiento general	METRUN	0	0	el periodo de funcionamiento se define explícitamente más adelante
	IBYR	–	2006	el año de funcionamiento se inicia si METRUN = 0
	IBMO	–	1	el mes de funcionamiento se inicia si METRUN = 0
	IBDY	–	1	el día de funcionamiento se inicia si METRUN = 0
	IBHR	–	0	la hora de funcionamiento se inicia si METRUN = 0
	IBSEC	–	0	el segundo de funcionamiento se inicia si METRUN = 0
	IEYR	–	2006	el año de funcionamiento termina si METRUN = 0
	IEMO	–	1	el mes de funcionamiento termina si METRUN = 0
	IEDY	–	31	el día de funcionamiento termina si METRUN = 0
	IEHR	–	23	la hora de funcionamiento termina si METRUN = 0
	IRSEC	–	3600	el segundo de funcionamiento termina si METRUN = 0
	XBTZ	–	5	zona horaria base (PST = 8, MST = 7, CST = 6, EST = 5)
	NSECDT	–	3600	longitud del intervalo de modelamiento (segundos)
	NSPEC	5	6	número de especies químicas
	NSE	3	3	número de especies químicas que serán emitidas
	ITEST	2	2	el programa es ejecutado después de la fase de CONFIGURACIÓN
	MRESTART	0	0	no lee o genera un archivo de reinicio
	NRESPD	0	0	sólo se genera un archivo de reinicio durante el último periodo
	METFM	1	1	archivo binario del modelo CALMET (CALMET.MET)
	MPRFFM	1	1	formato de datos del perfil meteorológico
	AVET	60	60	tiempo promedio en minutos
	PGTIME	60	60	tiempo promedio de PG en minutos
Grupo 2 Opciones técnicas	MGAUSS	1	1	distribución Gaussiana utilizada en un campo cercano
	MCTADJ	3	3	ajuste parcial del terreno de la dirección de la pluma
	MCTSG	0	0	terreno complejo no modelado a nivel de sub-cuadrícula
	MSLUG	0	0	los puffs de campo cercano no fueron modelados ampliamente
	MTRANS	1	1	modelado de la elevación transitoria de la pluma
	MTIP	1	1	se llevó a cabo el downwash de la punta de la chimenea
	MRISE	1	1	Se utilizó el método de Briggs para calcular la elevación de la pluma en fuentes puntuales no sometidas al procedimiento de building downwash
	MBDW	1	2	método para simular el procedimiento de building downwash (método PRIME)
	MSHEAR	0	1	modelado de la cortante vertical del viento
	MSPLIT	0	1	los puffs fueron divididos
	MCHEM	1	3	tasas de transformación calculadas a nivel interno mediante el esquema RIVAD/ARM3
	MAQCHEM	0	0	no se realizó el modelamiento de las tasas de transformación de la fase acuosa
	MWET	1	1	modelado del proceso de remoción húmeda

Tabla 2-2 Opciones de Entrada del Modelo CALPUFF (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
Grupo 2 (continuación)	MDRY	1	1	modelado del proceso de deposición seca
	MTILT	0	0	no se realizó el modelamiento del asentamiento gravitacional (inclinación de la pluma)
	MDISP	3	2	coeficientes de dispersión de los valores de sigma v, sigma w calculados internamente utilizando variables meteorológicas (u*, w*, L, etc.)
	MTURBVW	3	3	utilizar sigma-(v/teta) y sigma-w del archivo PROFILE.DAT para calcular sigma-y y sigma-z (válido para METFM = 1,2,3,4)
	MDISP2	3	3	coeficientes de dispersión de PG para áreas RURALES (calculados mediante la aproximación de segmentos múltiples ISCST) y coeficientes de dispersión de MP en áreas urbanas
	MTAULY	0	0	método utilizado para la escala de tiempo lagrangiana para sigma-y (Draxler, predeterminado)
	MTAUADV	0	0	no se utilizó la advección por turbulencia para la escala de degradación advectiva para turbulencia
	MCTURB	1	1	se utilizó las subrutinas CALPUFF estándar para calcular los valores de sigma-v y sigma-w de turbulencia utilizando variables meteorológicas
	MROUGH	0	0	no se ajustó los valores de sigma-y y sigma-z de PG para rugosidad
	MPARTL	1	1	penetración parcial de la pluma de inversión elevada
	MPARTLBA	1	1	penetración parcial de la pluma de inversión elevada modelada para fuentes de área flotantes
	MTINV	0	0	no se calculó la resistencia de la inversión de temperatura a partir de los gradientes medidos/predeterminados
	MPDF	0	1	se utilizó la FDP para la dispersión en condiciones convectivas
	MSGTIBL	0	0	no se utilizó el módulo TIBL de sub-cuadrícula para el borde de la playa
	MBCON	0	0	no se modeló las condiciones de límite
	MSOURCE	0	0	no se registró los aportes de fuentes individuales
	MFOG	0	0	no configurar para el resultado del Modelo FOG
	MREG	1	0	no probar las opciones especificadas para ver si cumplen con los valores reglamentarios
Grupo 3 Lista de especies	CSPEC	–	SO ₂ , SO ₄ , NO, NO ₂ , HNO ₃ , NO ₃	lista de especies químicas
		–	1,1,1,1,1,1	¿se modeló SO ₂ , SO ₄ , NO, NO ₂ , HNO ₃ , NO ₃ ? (0=no, 1=sí)
		–	1,0,1,1,0,0	¿se liberó SO ₂ , SO ₄ , NO, NO ₂ , HNO ₃ , NO ₃ ? (0=no, 1=sí)
		–	1,2,1,1,1,2	método de deposición seca SO ₂ , SO ₄ , NO, NO ₂ , HNO ₃ , NO ₃ (0=no, 1=gas calculado, 2=partícula calculada, 3=usuario especificado)
		–	0,0,0,0,0,0	número de grupo de salida SO ₂ , SO ₄ , NO, NO ₂ , HNO ₃ , NO ₃
Grupo 4 Proyección del mapa y parámetros de control de cuadrícula	PMAP	UTM	UTM	proyección del mapa
	FEAST	0	0	falso abscisa (km) en el origen de la proyección
	FNORTH	0	0	falso ordenada (km) en el origen de la proyección
	IUTMZN	–	17	zona UTM

Tabla 2-2 Opciones de Entrada del Modelo CALPUFF (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
Grupo 4 (continuación)	UTMHEM	N	N	hemisferio para la proyección UTM (N = norte, S = sur)
	RLAT0	–	0N	latitud del origen de la proyección (no se utiliza si PMAP = UTM)
	RLON0	–	0E	longitud del origen de la proyección (no se utiliza si PMAP = UTM)
	XLAT1	–	0N	paralelo(s) equivalente(s) de latitud (grados decimales) para proyección (sólo se utiliza si PMAP = LCC o PS)
	XLAT2	–	0N	paralelo(s) equivalente(s) de latitud (grados decimales) para proyección (sólo se utiliza si PMAP = LCC o PS)
	DATUM	WGS–84	WGS–84	región de referencia para las coordenadas de salida
	NX	–	60	número de celdas X en la cuadrícula meteorológica
	NY	–	60	número de celdas Y en la cuadrícula meteorológica
	NZ	–	10	número de capas verticales en la cuadrícula meteorológica
	DGRIDKM	–	1	espacio de la cuadrícula en kilómetros
	ZFACE	–	0, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1000, 1500, 2200, 3000	altura del lado de la celda en la cuadrícula meteorológica (metros)
	XORIGKM	–	509.128	coordenada X de referencia para el ángulo sur-oeste de la celda (1,1) de la cuadrícula meteorológica (kilómetros)
	YORIGKM	–	956.476	coordenada Y de referencia para el ángulo sur-oeste de la celda (1,1) de la cuadrícula meteorológica (kilómetros)
	IBCOMP	–	1	índice X del ángulo inferior izquierdo de la cuadrícula de cálculo
	JBCOMP	–	1	índice Y del ángulo inferior izquierdo de la cuadrícula de cálculo
	IECOMP	–	60	índice X del ángulo superior derecho de la cuadrícula de cálculo
	JECOMP	–	60	índice Y del ángulo superior derecho de la cuadrícula de cálculo
	LSAMP	T	F	no se utilizó la cuadrícula de muestreo
	IBSAMP	–	4	índice X del ángulo inferior izquierdo de la cuadrícula de muestreo
	JBSAMP	–	36	índice Y del ángulo inferior izquierdo de la cuadrícula de muestreo
	IESAMP	–	35	índice X del ángulo superior derecho de la cuadrícula de muestreo
	JESAMP	–	88	índice Y del ángulo superior derecho de la cuadrícula de muestreo
	MESHDN	1	1	factor de anidamiento de la cuadrícula de muestreo
	ICON	1	1	se creó el archivo de salida CONC.DAT que contiene campos de concentraciones
	IDRY	1	1	se creó el archivo de salida DFLX.DAT que contiene campos de flujo seco
	IWET	1	1	se creó el archivo de salida WFLX.DAT que contiene campos de flujo húmedo
	IVIS	1	0	no se creó archivos de salida que contienen datos sobre la humedad relativa
	LCOMPRS	T	F	no comprimir los datos de los archivos de salida

Tabla 2-2 Opciones de Entrada del Modelo CALPUFF (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
Grupo 5 Opciones de salida	IQAPLOT	1	1	crear una serie estándar de archivos de salida adecuada para su representación gráfica
	IMFLX	0	0	no se realizó el informe por horas del flujo de masa de los límites especificados para determinadas especies
	IMBAL	0	0	no se realizó el informe por horas del balance de masa de cada especie
Grupo 5 (continuación)	INRISE	0	0	no crear un archivo con las propiedades de la pluma para cada incremento, para cada intervalo del modelo
	ICPRT	0	0	no imprimir los campos de concentraciones en el archivo de salida
	IDPRT	0	0	no imprimir los campos de flujo seco en el archivo de salida
	IWPRT	0	0	no imprimir los campos de flujo húmedo en el archivo de salida
	ICFRQ	1	1	se imprime los campos de concentraciones en el archivo de salida cada hora
	IDFRQ	1	1	se imprime los campos de flujo seco en el archivo de salida cada hora
	IWFRQ	1	1	se imprime los campos de flujo húmedo en el archivo de salida cada hora
	IPRTU	1	3	las unidades del listado de la impresora de líneas se expresan en µg/m³, para las concentraciones, y en µg/m²/s, para la dispersión
	IMESG	2	2	los mensajes de seguimiento del progreso del funcionamiento se escriben en la pantalla
		–	0,0,0,0,0,0	se imprimen las concentraciones en el archivo de salida (0 = no, 1 = sí)
		–	1,1,1,1,1,1	se guardan las concentraciones en el disco (0=no, 1=sí)
	LDEBUG IPFDEB NPFDEB	–	0,0,0,0,0,0	se imprimen los flujos secos en el archivo de salida (0=no, 1=sí)
		–	1,1,1,1,1,1	se guardan los flujos secos en el disco (0=no, 1=sí)
	NN1 NN2	–	0,0,0,0,0,0	se imprimen los flujos húmedos en el archivo de salida (0=no, 1=sí)
		–	1,1,1,1,1,1	se guardan los flujos húmedos en el disco (0=no, 1=sí)
		–	0,0,0,0,0,0	se guardan los flujos de masa en el disco (0=no, 1=sí)
		F	F	valor lógico para la depuración de resultados
		1	1	primer puff que se monitoreará
		1	1	número de puffs que se monitorearán
		1	1	periodo meteorológico en el que se iniciará la producción
		10	10	periodo meteorológico en el que finalizará la producción
	NHILL	0	0	número de características del terreno
	NCTREC	0	0	número de receptores especiales para terrenos complejos
	MHILL	–	1	no se utilizó datos de entrada de los terrenos y receptores para los datos de los cerros CTSG en el formato CTDM
	XHILL2M	1	1	factor de conversión de dimensiones horizontales a metros
	ZHILL2M	1	1	factor de conversión de dimensiones verticales a metros

Tabla 2-2 Opciones de Entrada del Modelo CALPUFF (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
Grupo 6 Datos del terreno complejo a nivel se subcuadrículas	XCTDMKM	–	0.00E+00	origen X del sistema CTDM con respecto al sistema de coordenadas del modelo CALPUFF en kilómetros
	YCTDMKM	–	0.00E+00	origen Y del sistema CTDM con respecto al sistema de coordenadas del modelo CALPUFF en kilómetros
	YCTDMKM	0.1509	0.1509	difusividad de SO ₂ [cm ² /s]
		1,000.00	1,000.00	estrella alfa para SO ₂
		8	8	reactividad para SO ₂
Grupo 6 (continuación)	YCTDMKM	0	0	resistencia del mesófilo para SO ₂ [s/cm]
		0.04	0.04	coeficiente de la Ley de Henry para SO ₂
Grupo 7 Parámetros químicos para la deposición seca de los gases	RCUTR RGR REACTR	0.1345	0.1345	difusividad para NO [cm ² /s]
		1	1	estrella alfa para NO
		2	2	reactividad para NO
		25	25	resistencia del mesosófilo para NO [s/cm]
		18	18	coeficiente de la Ley de Henry para NO
		0.1656	0.1656	difusividad para NO ₂ [cm ² /s]
		1	1	estrella alfa para NO ₂
		8	8	reactividad para NO ₂
		5	5	resistencia del mesosófilo para NO ₂ [s/cm]
		3.5	3.5	coeficiente de la Ley de Henry para NO ₂
		0.1628	0.1628	difusividad para HNO ₃ [cm ² /s]
		1	1	estrella alfa para HNO ₃
		18	18	reactividad para HNO ₃
		0	0	resistencia del mesosófilo para HNO ₃ [s/cm]
		0.001	0.001	coeficiente de la Ley de Henry para HNO ₃
		0.48	0.48	diámetro medio de la masa geométrica de SO ₄ [µm]
		2	2	desviación estándar geométrica de SO ₄ [µm]
		0.48	0.48	diámetro medio de la masa geométrica de NO ₃ [µm]
		2	2	desviación estándar geométrica de NO ₃ [µm]
		30	30	resistencia de cutícula de referencia en s/cm
Grupo 8 Parámetros de tamaño para la deposición seca de partículas	NINT IVEG	10	10	resistencia del suelo de referencia en s/cm
		8	8	reactividad del contaminante de referencia
		9	9	número de intervalos de tamaño de partículas utilizado para evaluar la velocidad efectiva de la deposición de partículas
		1	2	la vegetación en áreas no irrigadas es activa e intensiva

Tabla 2-2 Opciones de Entrada del Modelo CALPUFF (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
Grupo 9 Parámetros varios de deposición seca	IVEG	0.00003	0.00003	coeficiente barrido de SO ₂ para precipitación líquida [sec ⁻¹]
		0	0	coeficiente de barrido de SO ₂ para precipitación congelada [sec ⁻¹]
	IVEG	0.0001	0.0001	coeficiente de barrido de SO ₄ ⁻² para precipitación líquida [sec ⁻¹]
		0.00003	0.00003	coeficiente de barrido de SO ₄ ⁻² para precipitación congelada [sec ⁻¹]
		0.00006	0.00006	coeficiente de barrido de HNO ₃ para precipitación líquida [sec ⁻¹]
Grupo 10 Parámetros de deposición húmeda	MOZ	0	0	coeficiente de barrido de HNO ₃ para precipitación congelada [sec ⁻¹]
	BCKO3 BCKNH3	0.0001	0.0001	coeficiente de barrido de NO ₃ ⁻ para precipitación líquida [sec ⁻¹]
Grupo 10 (continuación)	RNITE1 RNITE2	0.00003	0.00003	coeficiente de barrido de NO ₃ ⁻ para precipitación congelada [sec ⁻¹]
		1	0	se utiliza el valor de base mensual de ozono en el cálculo químico
		12*80	12*20	concentraciones de base de ozono en ppb
		12*10	12*10	concentración de base de amoniaco en ppb
		0.2	0.2	tasa de pérdida nocturna de SO ₂ en porcentaje/hora
		2	2	tasa de pérdida nocturna de NO _x en porcentaje/hora
Grupo 11 Parámetros químicos	RNITE3	2	2	tasa de formación nocturna de HNO ₃ en porcentaje/hora
	MH202	1	1	no se utilizó la opción de entrada de datos de H ₂ O ₂ debido a que MAQCHEM = 0
	BCKH2O2	12*1	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1	concentraciones mensuales de H ₂ O ₂ en ppb
	SYTDEP	550	550	tamaño horizontal del puff en metros, más allá del cual se utiliza la ecuación de dispersión de Heffter dependiente del tiempo
	MHFTSZ	0	0	no utilizar las fórmulas de Heffter para sigma z
	JSUP	5	5	clase de estabilidad utilizada para determinar las tasas de dispersión de puffs por encima de la capa límite
	CONK1	0.01	0.01	constante de dispersión vertical para condiciones estables
	CONK2	0.1	0.1	constante de dispersión vertical para condiciones neutrales/inestables
Grupo 12 Parámetros varios de dispersión y cálculo	TBD	0.5	0.5	utilizar el punto de transición ISC para determinar el punto de transición del esquema de Building Downwash de Schulman-Scire a Huber-Snyder
	IURB1	10	10	rango inferior de las categorías de uso de la tierra para el cual se asume la dispersión urbana
	IURB2	19	19	rango superior de las categorías de uso de la tierra para el cual se asume la dispersión urbana
	ILANDUIN	20	20	categoría de uso de la tierra para el dominio del modelamiento
	ZOIN	0.25	0.25	longitud de rugosidad en metros para el dominio del modelamiento
	XLAIXN	3	3	índice de área foliar para el dominio del modelamiento
	ELEVIN	0	0	elevación sobre el nivel del mar en metros [m]
	XLATIN	-999	-999	latitud de la estación en grados [°]
	XLONIN	-999	-999	longitud de la estación en grados [°]
	ANEMHT	10	10	altura del anemómetro en metros [m]
	ISIGMAV	1	1	se registra el valor de sigma-v para los datos de turbulencia lateral

Tabla 2-2 Opciones de Entrada del Modelo CALPUFF (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
	IMIXCTDM	0	0	se utiliza las alturas de mezcla previstas
	MXLEN	1	1	longitud máxima de infiltración emitida en unidades de cuadrícula meteorológica
	XSAMLEN	1	1	distancia máxima de recorrido de la infiltración o puff en unidades de cuadrícula meteorológica durante una unidad de muestreo
	MXNEW	99	50	número máximo de puffs o infiltraciones liberadas de una fuente durante un intervalo de tiempo
Grupo 12 (continuación)	MXSAM	99	99	número máximo de pasos de muestreo durante un intervalo de tiempo para un puff o infiltración
	NCOUNT	2	2	número de iteraciones utilizado para calcular el viento de transporte de un paso de muestreo que incluye un incremento gradual
	SYMIN	1	1	valor mínimo de sigma y en metros para un puff o infiltración nuevos
	SZMIN	1	1	valor mínimo de sigma z en metros para un puff o infiltración nuevos
	SZCAP_M	5.00E+06	5.00E+06	valor máximo permitido de sigma z para evitar problemas numéricos durante el cálculo de la distancia o tiempo virtual
	SVMIN	6*0.5, 6*0.37	6*0.5, 6*0.37	velocidades mínimas de turbulencia sigma-v para cada clase de estabilidad en la superficie terrestre y del agua (metros por segundo [m/s])
	SWMIN	0.20, 0.12, 0.08, 0.06, 0.03, 0.016, 0.2, 0.12, 0.08, 0.06, 0.03, 0.016	0.20, 0.12, 0.08, 0.06, 0.03, 0.016, 0.2, 0.12, 0.08, 0.06, 0.03, 0.016	velocidades mínimas de turbulencia sigma-w para cada clase de estabilidad en la superficie terrestre y del agua [m/s]
	CDIV	0.0, 0.0	0.0, 0.0	criterios de divergencia para dw/dz en las celdas meteorológicas
	NLUTIBL	4	4	radio de búsqueda (número de celdas) del área más cercana y celdas de agua utilizadas en el módulo TIBL de la subcuadrícula
	WSCALM	0.5	1	velocidad mínima del viento permitida para condiciones de alteración en metros por segundo [m/s]
	XMAXZI	3,000	3,000	altura de mezcla máxima en metros [m]
	XMINZI	50	50	altura de mezcla mínima en metros [m]
	WSCAT	1.54	1.54	categoría 1 de velocidad del viento [m/s]
		3.09	3.09	categoría 2 de velocidad del viento [m/s]
		5.14	5.14	categoría 3 de velocidad del viento [m/s]
	PLX0	8.23	8.23	categoría 4 de velocidad del viento [m/s]
		10.8	10.8	categoría 5 de velocidad del viento [m/s]
	PTG0 PPC	–	0.21	exponente del perfil de velocidad del viento para estabilidad A
		–	0.21	exponente del perfil de velocidad del viento para estabilidad B
		–	0.23	exponente del perfil de velocidad del viento para estabilidad C
		–	0.4	exponente del perfil de velocidad del viento para estabilidad D
		–	0.62	exponente del perfil de velocidad del viento para estabilidad E
		–	0.5	exponente del perfil de velocidad del viento para estabilidad F

Tabla 2-2 Opciones de Entrada del Modelo CALPUFF (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
		0.02	0.02	gradiente de temperatura potencial para estabilidad E [K/m]
		0.035	0.035	gradiente de temperatura potencial para estabilidad F [K/m]
		0.5	0.8	coeficiente de dirección de la pluma para estabilidad A
		0.5	0.7	coeficiente de dirección de la pluma para estabilidad B
		0.5	0.6	coeficiente de dirección de la pluma para estabilidad C
Grupo 12 (continuación)	SL2PF NSPLIT IRESPLIT	0.5	0.5	coeficiente de dirección de la pluma para estabilidad D
		0.35	0.5	coeficiente de dirección de la pluma para estabilidad E
	ZISPLIT ROLDMAX	0.35	0.5	coeficiente de dirección de la pluma para estabilidad F
		10	10	criterio de transición de infiltración a puff igual a sigma y/longitud de la infiltración
		3	2	número de puffs derivados de cada división
		0,0,0,0,0,0,0,0,0,0, 0,0,0,0,0,0,0,1,0,0, 0,0,0,0	0,0,0,0,0,0,0,0,0,0, 0,0,0,0,0,0,0,1,0,0, 0,0,0,0	hora(s) del día en las que los puffs divididos pueden dividirse nuevamente
		100	100	altura de mezcla mínima permitida durante la última hora para la división de puffs [m]
		0.25	0.25	relación máxima permitida entre la altura de mezcla de la última hora y la altura de mezcla máxima experimentada por el puff durante el proceso de división
	NSPLITH	5	5	número de puffs derivados de cada división
	SYSPLITH	1	1	valor mínimo de sigma-y (unidades de celda) del puff antes de que éste se divida
	SHSPLITH	2	2	tasa mínima de elongación del puff (SYSPLITH/hr) debido a la cortante del viento antes de que éste se divida
	CNSPLITH	1.0E-07	1.0E-07	concentración mínima [g/m ³] de cada especie en el puff antes de que éste se divida
	EPSSLUG	1.0E-04	1.0E-04	criterio de convergencia fraccionada para la integración numérica del muestreo de INFILTRACIÓN
	EPSAREA	1.00E-06	1.00E-06	criterio de convergencia fraccionada para la integración numérica de las fuentes del ÁREA
	DSRISE	1	1	trayectoria-longitud [m] utilizada para la integración numérica de la elevación
	HTMINBC	500	500	altura mínima [m] en la que se mezclan los puffs de condiciones de contorno a medida que son emitidos
	RSAMPBC	10	10	radio de búsqueda [km] de un receptor para el muestreo del puff más cercano a las condiciones de contorno
	MDEPBC	1	0	no se realizó ajuste alguno de reducción de campo cercano en el perfil utilizado durante el muestreo de los puffs de condiciones de contorno
	NPT1	-	7	número de fuentes puntuales
	IPTU	1	1	la unidad de las tasas de emisión de fuentes puntuales es gramos por segundo [g/s]
	NSPT1	0	0	número de combinaciones de especies de origen con factores variables de incremento de las emisiones
	NPT2	-	0	número de fuentes puntuales con parámetros de emisión variables especificado en el archivo externo

Tabla 2-2 Opciones de Entrada del Modelo CALPUFF (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
	NAR1	–	3	número de fuentes del área del polígono
Grupo 13 Parámetros de fuentes puntuales	IARU	1	1	la unidad de las tasas de emisión de las fuentes de área es gramos por metro cuadrado por segundo [g/m²/s]
	NSAR1	0	0	número de combinaciones de especies de origen con factores variables de incremento de las emisiones
	NAR2	–	0	número de fuentes de área del polígono flotantes con parámetros variables de ubicación y emisión
	NLN2	–	0	número de fuentes lineales flotantes con parámetros variables de ubicación y emisión
Grupo 14 Parámetros de fuentes de área	NLINES	–	0	número de fuentes lineales flotantes
	ILNU	1	1	la unidad de las tasas de emisión de las fuentes lineales es gramos por segundo [g/s]
	NSLN1	0	0	número de combinaciones de especies de origen con factores variables de incremento de emisiones
	MXNSEG	7	0	número máximo de segmentos utilizados para el modelamiento de cada línea
Grupo 15 Parámetros de fuentes lineales	NLRISE	6	0	número de distancias en las que se calcula el incremento transitorio
	XL	–	0	longitud promedio de las fuentes lineales en metros [m]
	HBL	–	0	altura promedio de las fuentes lineales en metros [m]
	WBL	–	0	ancho promedio de las edificaciones en metros [m]
	WML	–	0	ancho promedio de las fuentes lineales en metros [m]
	DXL	–	0	separación promedio entre las edificaciones en metros [m]
	FPRIMEL	–	0	parámetro de flotabilidad promedio en m⁴/s³
	NVL1	–	0	número de fuentes de volumen
Grupo 15 (continuación)	IVLU	1	1	la unidad de las tasas de emisión de las fuentes de volumen es gramos por segundo [g/s]
	NSVL1	0	0	número de combinaciones de especies de origen con factores variables de incremento de emisiones
	NSVL2	–	0	número de fuentes de volumen con parámetros variables de ubicación y emisión
	NREC	–	9,539	número de receptores no cuadriculados
Grupo 16 Parámetros de fuentes de volumen				
Grupo 17 Información sobre receptores no cuadriculados				

Notas: SO₂ = dióxido de azufre; SO₄ = sulfato; NO = óxido nítrico; NO₂ = dióxido de nitrógeno; HNO₃ = ácido nítrico; NO₃ = nitrato; km = kilómetro; cm²/s = centímetros cuadrados por segundo; s/cm = segundos por centímetro; µm = micrómetros; sec⁻¹ = por segundo; ppb = partes por mil millones; K/m = Kelvin por metro; g/m³ = gramos por metro cúbico; g/m²/s = gramos por metro cuadrado por segundo; g/s = gramos por segundo; – = no aplicable; PST = hora estándar del pacífico; MST = hora estándar de la montaña; CST = hora estándar central; EST = hora estándar del este; PG = esquema de clasificación de estabilidad Pasquill-Gifford.

3 DISPERSIÓN METEOROLÓGICA

Los vientos de campo tridimensionales utilizados en el proceso de modelamiento de dispersión CALPUFF que se llevó a cabo para el Proyecto fueron establecidos utilizando el modelo CALMET desarrollado específicamente para ser usado con el modelo CALPUFF. Los campos de viento del modelo CALMET fueron simulados en un área de 60 por 60 km, la cual comprende el dominio del modelamiento así como una zona de “amortiguamiento” adicional para minimizar los efectos de límite. Este procedimiento se llevó a cabo con la finalidad de garantizar que el modelo CALPUFF utilice los campos de viento más representativos en toda el área de estudio. Se creó un conjunto de datos meteorológicos tridimensionales para el modelo CALMET durante un periodo de 12 meses (de enero a diciembre de 2006) utilizando los datos del modelo meteorológico de mesoescala MM5.

3.1 DATOS DEL MODELO CALMET

El modelo CALMET se encuentra conformado por dos componentes principales: un módulo de campos de viento y un módulo meteorológico para capas límite. En el Paso 1 del módulo de campos de viento, el campo de estimación inicial es modificado por los efectos cinéticos del terreno, los flujos de la pendiente y los efectos de bloqueo. El modelo de capa límite superficial calcula los campos cuadrículados de velocidad de fricción de la superficie, escala de velocidad convectiva, longitud de Monin-Obukhov, altura de mezcla, clase de estabilidad Pasquill-Gifford, temperatura del aire y tasa de precipitación.

El dominio del modelo CALMET abarca un área de 60 por 60 km centrada en el Proyecto con una resolución de cuadrícula de 1 km. Existen 10 capas verticales con las siguientes alturas de celda: superficie (0 m), 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1,000, 1,500, 2,200 y 3,000 m.

De acuerdo con los datos observados en la región del Proyecto, se utilizó los datos del modelo de mesoescala generados por el Modelo de Mesoescala de Quinta Generación (MM5) del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (NCAR)/Universidad Estatal de Pensilvania para el campo de estimación inicial y el modelo CALMET fue ejecutado en la modalidad “sin observaciones”.

3.1.1 Modelo de Mesoescala de Quinta Generación de NCAR/Universidad Estatal de Pensilvania

El Modelo de Mesoescala de Quinta Generación desarrollado por el NCAR/Universidad Estatal de Pensilvania (MM5) es un modelo de pronóstico que calcula los siguientes

parámetros: componentes horizontales y verticales de la velocidad, presión, temperatura, humedad relativa, y las relaciones de mezcla de vapor, nubosidad, lluvia, nieve, hielo y graupel. El modelo fue desarrollado de manera conjunta por el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (NCAR) y la Universidad Estatal de Pensilvania (PSU). La simulación de los vientos meteorológicos de escala continental utilizados en el modelo CALMET estuvo a cargo de Atmospheric Studies Group at TRC Companies, Inc. (TRC) en el año 2006.

Se comparó los resultados del modelo MM5 con las observaciones para garantizar que los datos de este modelo representaran a la ubicación del Proyecto. Debido a la falta de datos observados disponibles para el año 2006 en el dominio del Proyecto, se comparó las observaciones de la estación aérea de la Base de la Fuerza Aérea de Albrook, ubicada cerca de la Ciudad de Panamá, con los datos correspondientes de la celda del modelo MM5 que contenía a la estación Albrook. Las Figuras 3-1 y 3-2 muestran un ejemplo de comparación de los perfiles observados y verticales de MM5 de temperatura y velocidad del viento, respectivamente. Los perfiles de temperatura observados y de MM5 son muy similares con temperaturas ligeramente menores en el modelo MM5. El patrón del perfil de la velocidad del viento es similar; sin embargo, las velocidades del viento derivadas del modelo MM5 son ligeramente más altas que las observadas por encima de los 100 m aproximadamente.

3.1.2 Parámetros Geofísicos

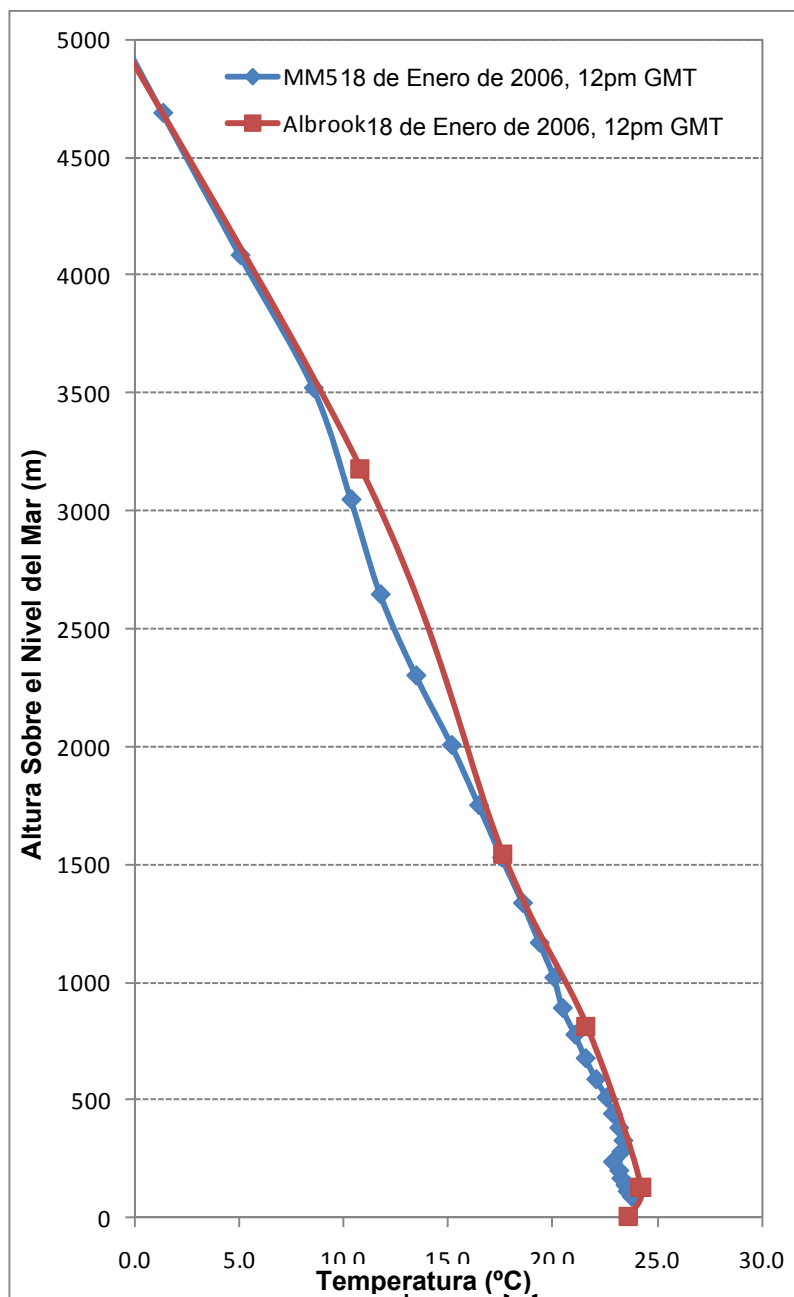
El modelo CALMET requiere una descripción física de la superficie del suelo para determinar los parámetros meteorológicos en la capa límite. Los parámetros geofísicos incluyen: categoría de uso de la tierra, elevación del terreno, longitud de rugosidad, albedo, cociente de Bowen, parámetro del flujo de calor de la superficie, flujo de calor antropogénico e índice de área foliar (IAF). La Tabla 3-1 presenta un resumen de los parámetros geofísicos de cada una de las categorías de uso de la tierra.

3.1.2.1 Categorías de Uso de la Tierra

Se utilizó cuatro categorías de uso de la tierra para describir el dominio del modelamiento CALMET. Se obtuvo datos sobre el uso de la tierra con una resolución de un kilómetro de la base de datos de caracterización de la cobertura terrestre (GLCC) del Estudio Geológico los Estados Unidos (USGS). Se observó los siguientes aspectos a partir de los datos sobre el uso de la tierra:

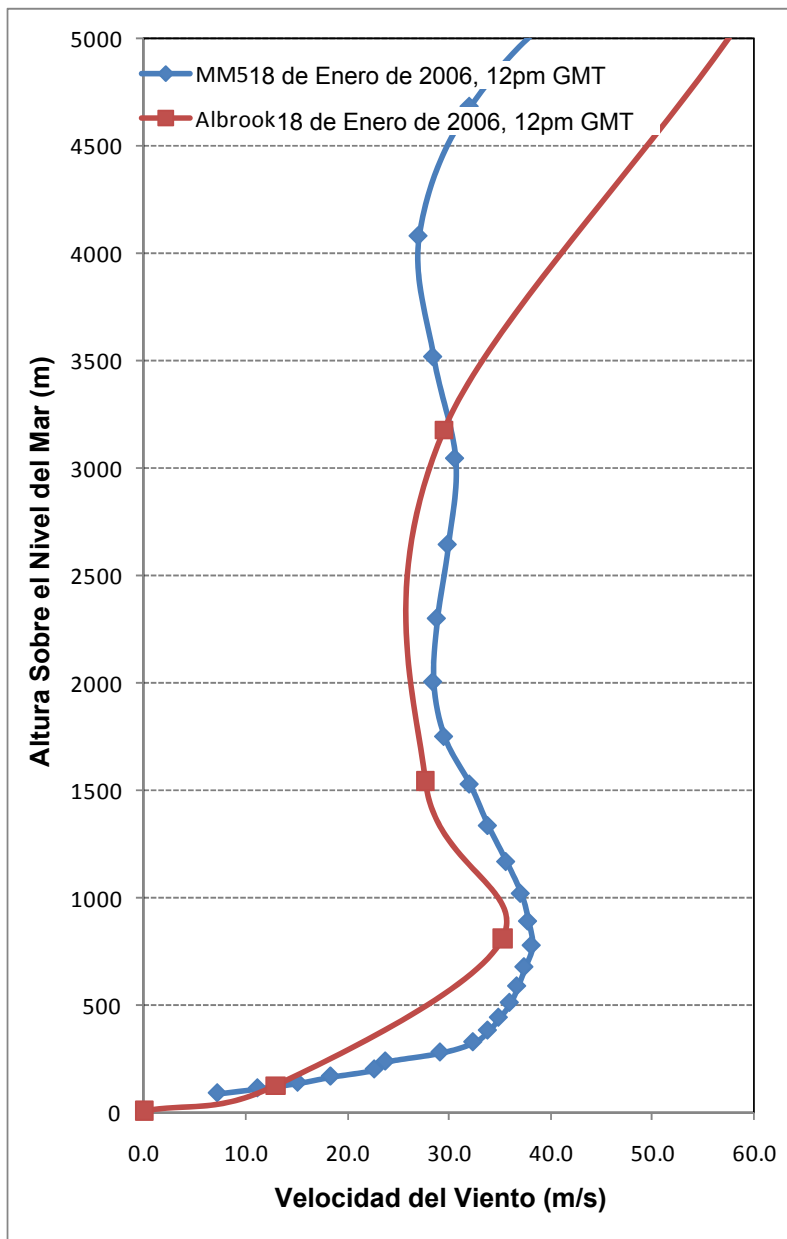
- las tierras agrícolas cubren 27 por ciento del dominio del modelamiento;

Figura 3-1 Comparación de Las Temperaturas Observadas y Derivadas del Modelo MM5



Notas: °C = grados Celsius; GMT = meridiano de Greenwich; m – metro.

Figura 3-2 Comparación de las Velocidades del Viento Observadas y Derivadas del Modelo MM5



Notas: GMT = meridiano de Greenwich; m = metro; m/s = metros por segundo.

- las tierras boscosas cubren 42 por ciento del dominio del modelamiento;
- las tierras de pastoreo cubren 0.2 por ciento del dominio del modelamiento; y

- el agua (principalmente el océano) cubre 31 por ciento del dominio del modelamiento.

Tabla 3-1 Parámetros Geofísicos Usados en el Modelo CALMET

Categoría de Uso de la Tierra del Modelo CALMET	Descripción de la Categoría	Longitud de Rugosidad [m]	Albedo	Cociente de Bowen	Parámetro de Flujo de Calor del Suelo [W/m ²]	Índice de Área Foliar
20	tierras agrícolas	0.25	0.15	1.0	0.15	3.0
30	tierras de pastoreo	0.05	0.25	1.0	0.15	3.0
40	Bosque	1.0	0.1	1.0	0.15	7.0
51	Agua	0.001	0.1	0.0	1.0	0.0

Notas: m = metro; W/m² = vatios por metro cuadrado.

3.1.2.2 Topografía del Terreno

Los datos de la topografía del terreno se obtuvieron de la Base de Datos GLCC USGS con 1 km de resolución. El terreno que conforma el dominio del modelo CALMET se caracteriza por la presencia de colinas ondulantes cerca de la costa y terrenos más elevados cerca de la mina. La elevación más alta de la celda es 1,270 metros sobre el nivel del mar (msnm), en el límite sur del dominio del modelo CALMET. La elevación más baja de la celda es 0 msnm.

3.1.3 Opciones del Modelo CALMET

El modelo CALMET presenta diversas opciones para el cálculo de los campos de viento y meteorológicos del dominio. La Tabla 3-2 contiene los datos del modelo CALMET. Se utilizó las opciones predeterminadas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) en los casos adecuados.

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
Grupo de datos 1 – Parámetros generales de control del funcionamiento	IBYR	—	2006	año
	IBMO	—	1	mes
	IBDY	—	1	día
	IBHR	—	1	hora
	IBTZ	—	5	zona horaria base
	IRLG	—	744	longitud del periodo de funcionamiento (horas)
	IRTYPE	1	1	tipo de funcionamiento – se calcula los campos de viento y las variables micrometeorológicas
	LCALGRD	T	T	no se calcula campos de datos especiales requeridos por CALGRID
	ITEST	2	2	se prosigue con la ejecución de la fase de cálculo después de la configuración
Grupo de datos 2 – Proyección del mapa y control de cuadrículas	MREG	—	1	se somete a prueba las opciones para verificar el cumplimiento de las normas de la US EPA
	PMAP	UTM	UTM	proyección del mapa = Mercator Universal Transversal
	FEAST	0	—	falso abscisa en el origen de la proyección – no se utiliza cuando PMAP = UTM
	FNORTH	0	—	falso ordenada en el origen de la proyección – no se utiliza cuando PMAP = UTM
	IUTMZN	—	17	zona UTM
	UTMHEM	N	N	proyección del hemisferio norte
	RLAT0	—	—	latitud del origen de la proyección – no se utiliza

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
				cuando PMAP = UTM
	RLON0	—	—	longitud del origen de la proyección – no se utiliza cuando PMAP = UTM
	XLAT1	—	—	paralelo(s) equivalentes(s) de latitud para proyección – no se utiliza cuando PMAP = UTM
	XLAT2	—	—	paralelo(s) equivalentes(s) de latitud para proyección – no se utiliza cuando PMAP = UTM
	DATUM	WGS-84	WGS-84	región de referencia para las coordenadas de salida = WGS-84 Elipsoide y Geoide de Referencia, Cobertura Global
	NX	—	60	número de celdas X
	NY	—	60	número de celdas Y
	DGRIDKM	—	1	espacio de las cuadrículas [km]
	XORIGKM	—	509.128	coordenada X del ángulo sudoeste del dominio [km]
	YORIGKM	—	956.476	coordenada Y del ángulo sudoeste del dominio [km]
	NZ	—	10	número de capas verticales
	ZFACE	—	0, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1000, 1500, 2200, 3000	altura del lado de la celda en la cuadrícula vertical [m]
Grupo de datos 3 – Opciones de salida	LSAVE	T	T	guardar campos meteorológicos en un archivo de salida sin formato
	IFORMO	1	1	tipo CALPUFF/CALGRID de archivo de salida sin formato

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
	LPRINT	F	T	no imprimir campos meteorológicos
	IPRINF	1	1	imprimir intervalo [horas]
	IUVOUT	NZ*0	NZ*0	capas de los componentes de viento U, V para imprimir (0=no, 1=sí)
	IWOUT	NZ*0	NZ*0	niveles del componente de viento W para imprimir (0=no, 1=sí)
	ITOUT	NZ*0	NZ*0	I (0=no, 1=sí)
	STABILITY	0	0	imprimir clase de estabilidad de PGT
	USTAR	0	0	imprimir velocidad de fricción
	MONIN	0	0	imprimir longitud Monin-Obukhov
	MIXHT	0	0	imprimir altura de mezcla
	WSTAR	0	0	imprimir escala de velocidad convectiva
	PRECIP	0	0	imprimir tasa de precipitación
	SENSHEAT	0	0	no imprimir flujo de calor sensitivo
	CONVZI	0	0	no imprimir altura de mezcla convectiva
	LDB	F	F	no imprimir datos meteorológicos de entrada y variables internas
	NN1	1	1	paso inicial en el que se imprime los datos de depuración
	NN2	1	2	último paso en el que se imprime los datos de depuración
	LDBCST	F	F	no imprimir las variables internas de distancia a la tierra

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
	IOUTD	0	0	variable de control para registrar los campos de viento de prueba/depuración en archivos de disco
	NZPRN2	1	1	número de niveles a imprimir
	IPR0 a IPR8	0	0	no imprimir los componentes de campos de viento después de cada ajuste
Grupo de datos 4 – Opciones de datos meteorológicos	NOOBS	0	2	no existen observaciones de la superficie terrestre, superficie del agua o de la atmósfera superior. Utilizar datos en 3D para la superficie terrestre, superficie del agua y atmósfera superior.
	NSSTA	—	0	número de estaciones de monitoreo de la superficie
	NPSTA	—	-1	número de estaciones de monitoreo de la precipitación (-1 = usar datos de precipitación en 3D)
	ICLOUD	0	3	cobertura nubosa cuadrículada de la humedad relativa de pronóstico a 850 mb
	IFORMS	2	2	datos de usuario de formato libre para el archivo de datos meteorológicos de la superficie
	IFORMP	2	2	datos de usuario de formato libre para el archivo de datos de las precipitaciones
	IFORMC	2	2	formato de los datos de

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
datos 4 – (continuación)				nubosidad
Grupo de datos 5 – Opciones y parámetros de campos de viento	IWFCOD	1	1	módulo de viento para diagnóstico
	IFRADJ	1	1	calcular efectos del ajuste del número de Froude
	IKINE	0	0	no calcular efectos cinéticos
	IOBR	0	0	no utilizar el procedimiento O'Brien para llevar a cabo el ajuste de la velocidad vertical
	ISLOPE	1	1	calcular flujos de pendiente
	IEXTRP	-4	1	no se extrapoló las observaciones de vientos superficiales a las capas superiores
	ICALM	0	0	no extrapolar los vientos superficiales en condiciones de calma
	BIAS	NZ*0	NZ*0	tendencias dependientes de las capas para modificar los pesos de las estaciones de monitoreo de la superficie y la atmósfera superior
	RMIN2	4	4	distancia mínima desde la estación de atmósfera superior más cercana hasta la estación de superficie en la que se permitirá la extrapolación de los vientos superficiales en la estación de monitoreo de la superficie. Fijada en -1 para EXTRP=4
	I PROG	0	14	usar los datos de los vientos del archivo

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
				MM5.dat como datos iniciales (IWFCOD=1)
	ISTEPPG	1	1	intervalo de los datos de entrada del modelo de pronóstico (horas)
	IGFMET	0	0	no utilizar los campos del modelo CALMET como campos iniciales
	LVARY	F	F	no utilizar radios de influencia variables
	RMAX1	—	1	radio máximo de influencia sobre la tierra en la capa superficial [km]
	RMAX2	—	1	radio máximo de influencia en la parte superior de la superficie [km]
	RMAX3	—	1	radio máximo de influencia en el agua
	RMIN	0.1	0.1	radio mínimo de influencia utilizado en la interpolación de campos de viento [km]
	TERRAD	—	1	radio de influencia de las características del terreno
	R1	—	1	ponderación relativa del campo inicial y observaciones en la capa superficial [km]
	R2	—	1	ponderación relativa de las observaciones del campo inicial en las capas superiores [km]
	RPROG	—	0	parámetro de ponderación relativa de los datos de campos de viento de pronóstico [km]. Sólo se utiliza si IPROG=1.
	DIVLIM	0.000005	0.000005	divergencia máxima aceptable en el

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
				procedimiento de minimización de divergencia
	NITER	50	50	número máximo de iteraciones en el procedimiento de minimización de divergencia
	NSMTH	2, (mxnz-1)*4	2,4,4,4,4,4,4,4	número de pases en el procedimiento de uniformización
Grupo de datos 5 (continuación)	NINTR2	99	99, 99, 99, 99, 99, 99, 99, 99, 99, 99	número máximo de estaciones utilizadas en cada capa para la interpolación de datos hacia determinado punto de la cuadrícula
	CRITFN	1	1	número de Froude crítico
	ALPHA	0.1	0.1	factor empírico de control de la influencia de los efectos cinéticos
	FEXTR2	NZ*0	NZ*0	factor de incremento multiplicativo para la extrapolación de las observaciones de la superficie a las capas superiores. Sólo se utiliza si IEXTRP = 3 ó -3.
	NBAR	0	0	número de barreras para la interpolación de los campos de viento
	IDIOPT1	0	0	cálculo de la temperatura de la superficie a nivel interno con base en las observaciones de la superficie realizadas cada hora
	ISURFT	—	-2	estación meteorológica de monitoreo de la superficie que se utilizará para medir

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
				la temperatura de la superficie (sólo se utiliza si IDIOPT = 0)
	IDIOPT2	0	0	cálculo del gradiente térmico promedio del dominio con base en las observaciones de la atmósfera superior realizadas dos veces al día
	IUPT	—	-2	estación de monitoreo de la atmósfera superior que se utilizará para la determinación del gradiente a nivel del dominio
	ZUPT	200	200	profundidad a través de la cual se calcula el gradiente a nivel del dominio
	IDIOPT3	0	0	cálculo de los componentes de viento promedio del dominio a nivel interno con base en las observaciones de la atmósfera superior realizadas dos veces al día
	IUPWIND	-1	-1	estación de monitoreo de la atmósfera superior que se utilizará para la medición de los vientos a nivel del dominio
	ZUPWIND	1, 1000	1, 1000	parte inferior y superior de la capa a través de la cual se calcula los vientos a nivel del dominio
	IDIOPT4	0	0	leer los valores de WS y WD de un archivo de datos de la superficie para obtener los componentes

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
				de vientos superficiales observados para el módulo de campos de viento
	IDIOPT5	0	0	leer los valores de WS y WD de un archivo de datos de la atmósfera superior para obtener los componentes de viento observados de la atmósfera superior para el módulo de campos de viento
	LLBREZE	F	F	no utilizar el módulo de brisa del lago
Grupo de datos 6 – Parámetros de altura de mezcla, temperatura y precipitación	CONSTB	1.41	1.41	constante para la ecuación mecánica neutral
	CONSTE	0.15	0.15	constante para la ecuación de altura de mezcla convectiva
	CONSTN	2400	2400	constante para la ecuación de altura de mezcla estable
	CONSTW	0.16	0.16	constante para la ecuación de altura de mezcla de la superficie del agua
	FCORIOL	0.0001	0.0001	valor absoluto del parámetro de Coriolis
	IAVEZI	1	1	realizar el cálculo del promedio espacial de las alturas de mezcla
	MNMDAV	1	1	radio de búsqueda máximo para el cálculo del promedio (celdas)
	HAFANG	30	30	ángulo medio del cono en dirección del viento para el cálculo del promedio

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
Grupo de datos 6 (continuación)	ILEVZI	1	1	capa de vientos utilizada en el cálculo del promedio en dirección del viento
	IMIXH	1	-1	opción de altura de mezcla convectiva = Maul-Carson sólo para celdas terrestres - OCD para la altura de mezcla de la superficie del agua
	THRESHL	0	0	flujo de flotabilidad límite necesario para soportar el crecimiento de la altura de mezcla convectiva en la superficie terrestre (expresado como el flujo de calor por metro de la capa límite W/m ³)
	THRESHW	0.05	0.05	flujo de flotabilidad límite necesario para soportar el crecimiento de la altura de mezcla convectiva en la superficie del agua (expresado como el flujo de calor por metro de la capa límite W/m ³)
	ITWPROG	0	2	utilizar los gradientes de pronóstico y el delta T de pronóstico para el crecimiento de la altura de mezcla convectiva
	ILUOC3D	16	16	grupos de datos en 3D de la categoría de uso de la tierra
	DPTMIN	0.001	0.001	gradiente térmico mínimo potencial en la capa estable por encima de la altura de mezcla convectiva actual [K/m]
	DZZI	200	200	profundidad de la capa que se encuentra por encima de la altura de

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
				mezcla convectiva actual a partir de la cual se calcula el gradiente
	ZIMIN	50	50	altura de mezcla mínima de la superficie terrestre [m]
	ZIMAX	3000	3000	altura de mezcla máxima de la superficie terrestre [m]
	ZIMINW	50	50	altura de mezcla mínima de la superficie del agua [m]
	ZIMAXW	3000	3000	altura de mezcla máxima de la superficie del agua [m]
	ICOARE	10	0	utilizar el método del delta T original (OCD) para los flujos de superficie del agua
	DSHELF	0	0	escala de longitud de la costa/agua superficial [km] (sólo para flujos COARE)
	IWARM	0	0	cálculo de la capa cálida COARE
	ICOOL	0	0	cálculo de la capa fría COARE
	ITPROG	0	2	no existen observaciones de la superficie o la atmósfera superior. Utilizar los datos 3D de la superficie y la atmósfera superior.
	IRAD	1	1	utilizar 1/R para la interpolación de temperatura
	TRADKM	500	500	radio de influencia para la interpolación de temperatura [km]
	NUMTS	5	5	número máximo de

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
				estaciones que se incluirá en la interpolación de temperatura
	IAVET	1	0	no calcular el promedio espacial de las temperaturas
	TGDEFB	-0.0098	-0.0098	gradiente térmico predeterminado inferior a la altura de mezcla de la superficie del agua [K/m]
	TGDEFA	-0.0045	-0.0045	gradiente térmico predeterminado superior a la altura de mezcla de la superficie del agua [K/m]
	JWAT1, JWAT2	—	999,999	categoría inicial y final de uso de la tierra para la interpolación de temperatura en la superficie del agua
	NFLAGP	2	2	utilizar 1/R2 para la interpolación de la precipitación
Grupo de datos 6 (continuación)	SIGMAP	100	100	radio de influencia [km]
	CUTP	0.01	0.01	corte de la tasa mínima de precipitaciones [mm/hr]
Grupo de datos 7 – Parámetros de la estación meteorológica de monitoreo de la superficie	—	—	—	no se utilizó
Grupo de datos 8 – Parámetros de la estación meteorológica de monitoreo de la atmósfera	—	—	—	no se utilizó

Tabla 3-2 Opciones de Entrada del Modelo CALMET (continuación)

Grupo de Datos	Parámetro	Valor Predeterminado	Proyecto	Descripción
superior				
Grupo de datos 9 – Parámetros de la estación de monitoreo de la precipitación	—	—	—	no se utilizó

Nota: — = no aplicable; km = kilómetros; mb = milibares; m = metros; mm/hr = milímetros por hora; W/m³ = vatios por metro cúbico; K/m = Kelvin por metro.

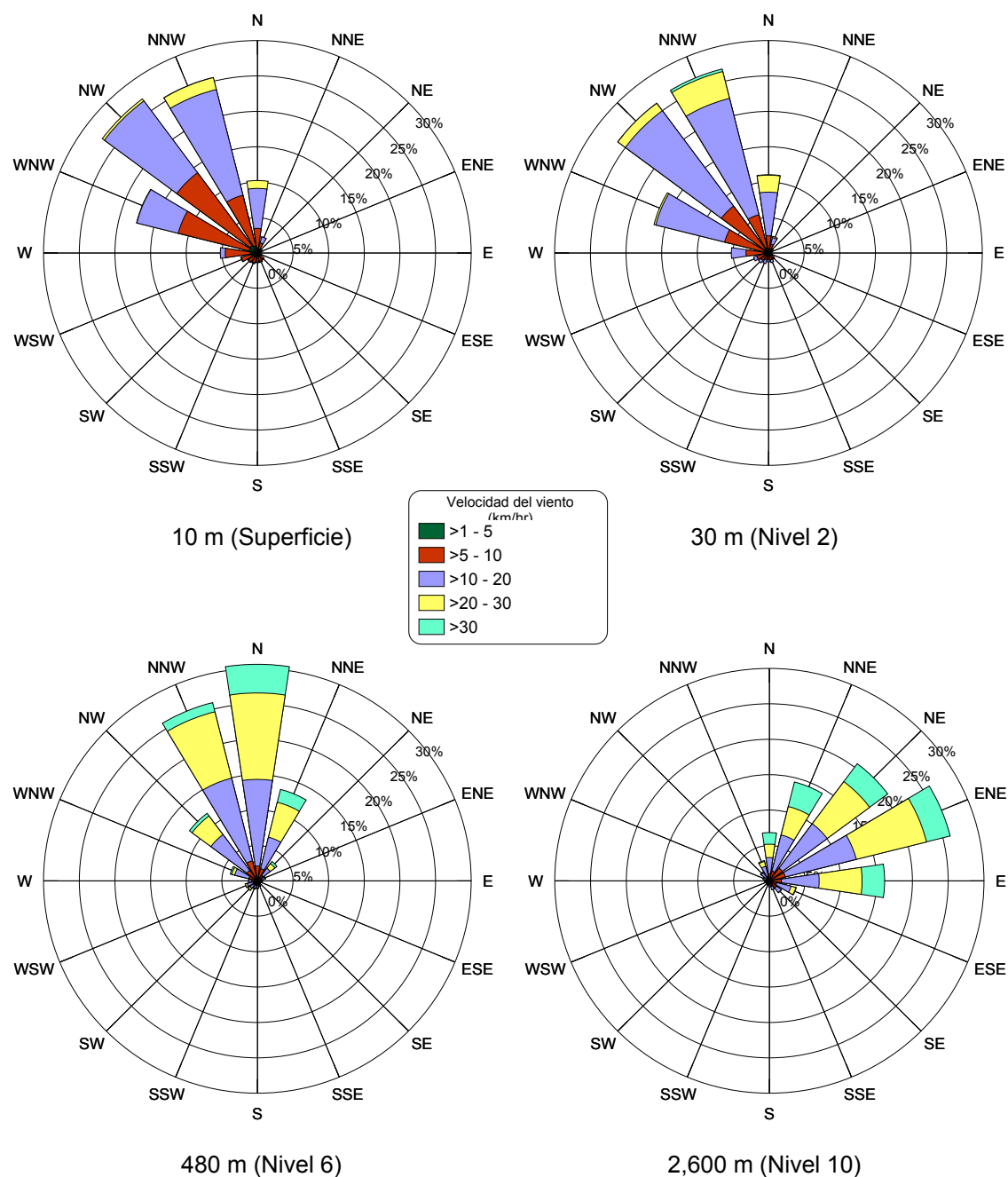
3.2 RESULTADOS DEL MODELO CALMET

Esta sección presenta un resumen de los parámetros meteorológicos generados por el modelo CALMET para el puerto y la mina del Proyecto propuesto, incluyendo los vientos, alturas de mezcla y clases de estabilidad.

3.2.1 Viento

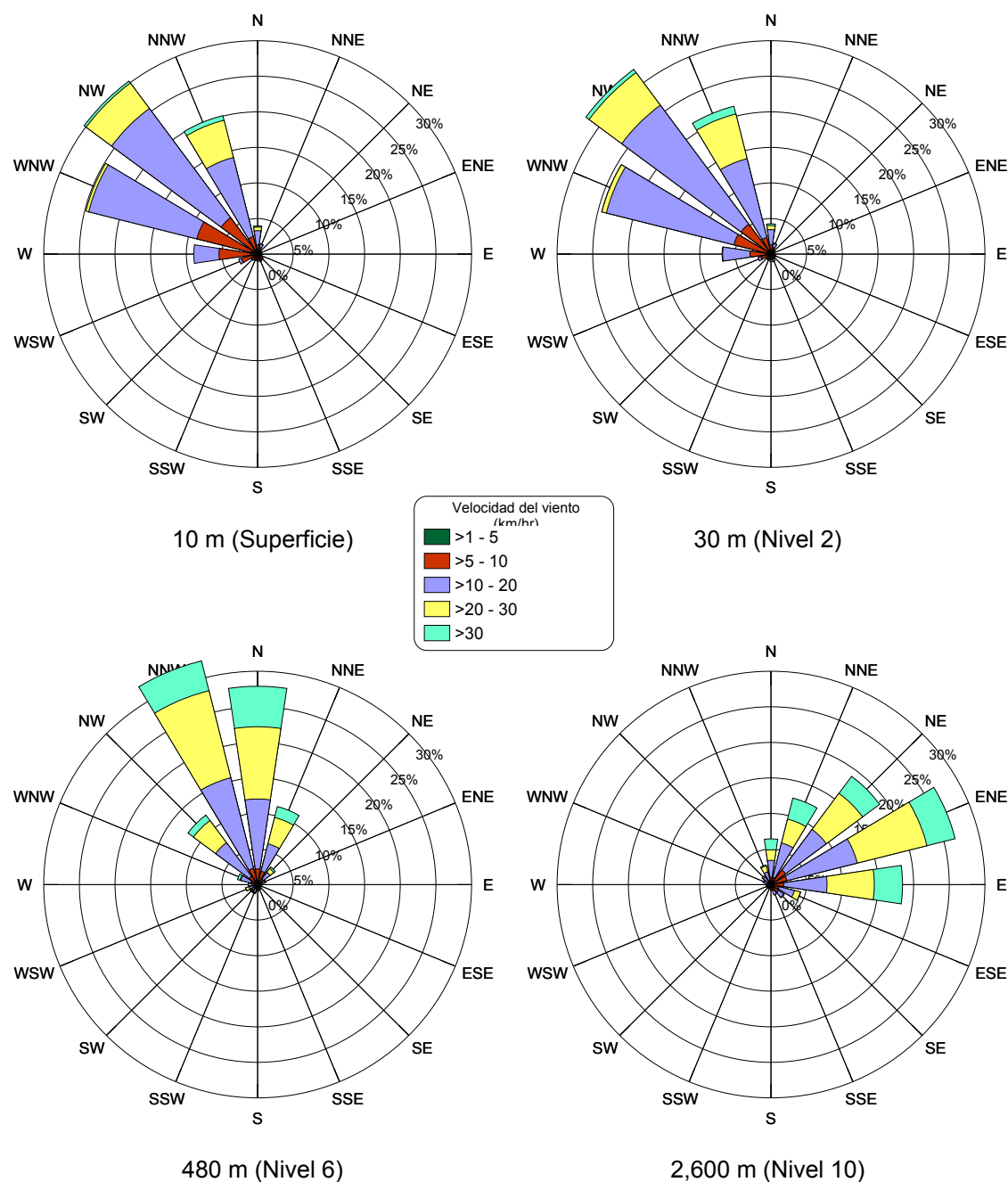
Las Figuras 3-3 y 3-4 muestran los vientos derivados del modelo CALMET para las celdas que contienen al puerto y la planta procesadora de la mina, respectivamente, en cuatro niveles: 10 m (superficie); 30 m (nivel 2); 480 m (nivel 6) y 2,600 m (nivel 10). Los vientos predominantes cerca de la superficie en el puerto y la mina provienen del noroeste y el nor-noroeste. Existe una mayor predominancia del norte y este-noreste en los niveles superiores así como con velocidades más altas del viento. Las condiciones de calma (velocidad del viento inferior a 1 kilómetro por hora [km/hr]) ocurren menos de 0.5 por ciento del tiempo en todos los niveles.

Figura 3-3 Rosas de los Vientos Derivadas del Modelo CALMET para el Puerto



Nota: > = mayor que; km/h = kilómetros por hora; m = metro; N = norte; E = este; S = sur; W = oeste.

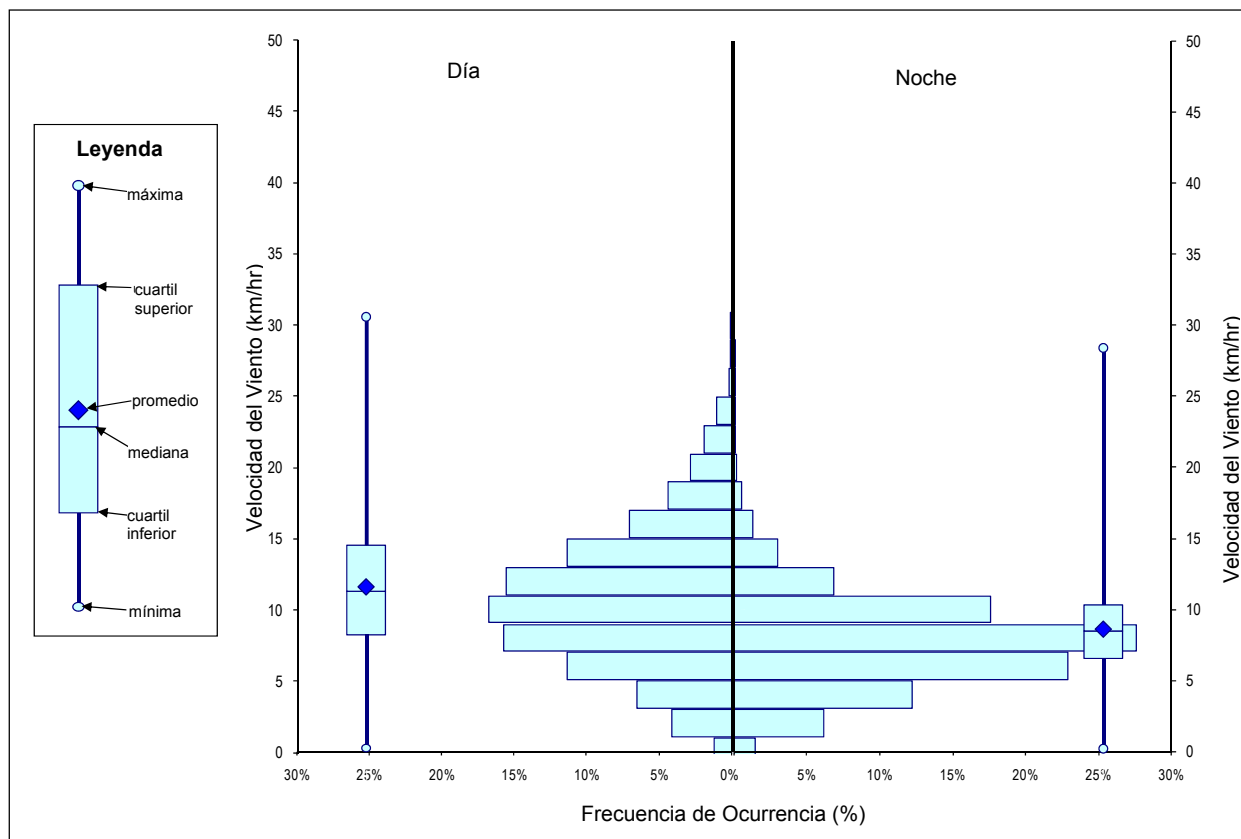
Figura 3-4 Rosas de los Vientos Derivadas del Modelo CALMET para la Mina



Nota: > = mayor que; km/h = kilómetros por hora; m = metro; N = norte; E = este; S = sur; W = oeste.

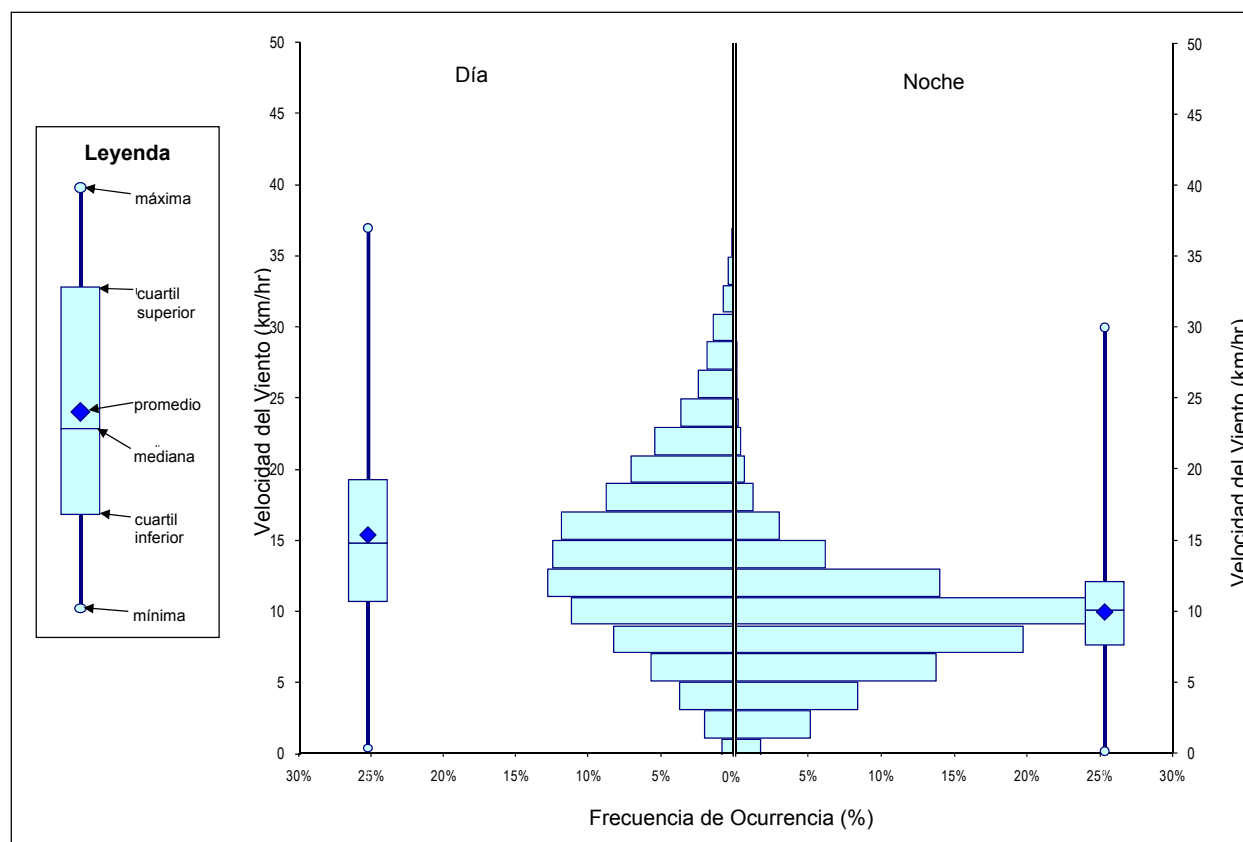
Las Figuras 3-5 y 3-6 muestran las diferencias diurnas en la velocidad del viento entre el puerto y la mina. Las velocidades más bajas del viento por lo general se producen durante la noche en ambas áreas. Las velocidades nocturnas promedio del viento en el puerto y la mina son 9 y 10 km/hr, respectivamente. Las velocidades diurnas promedio del viento en el puerto y la mina son 12 y 15 km/hr, respectivamente.

Figura 3-5 Comparación de las Velocidades Diurnas del Viento en el Puerto



Notas: por ciento = por ciento; km/hr = kilómetros por hora.

Figura 3-6 Comparación de las Velocidades Diurnas del Viento en la Mina

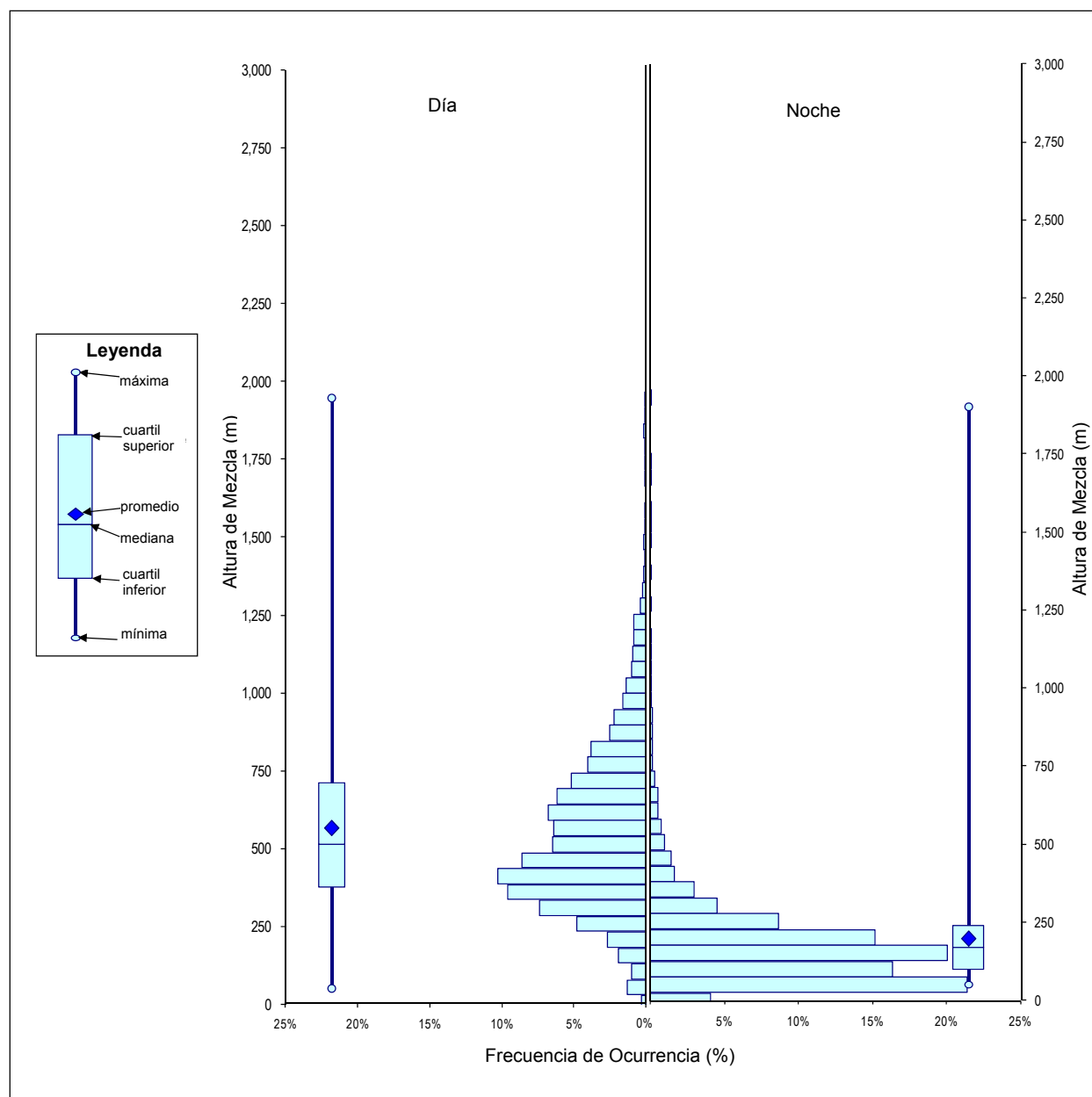


Nota: por ciento = por ciento; km/hr = kilómetros por hora.

3.2.2 Altura de Mezcla

La altura de mezcla es una medida de la profundidad de la atmósfera en la que puede ocurrir la mezcla de las emisiones atmosféricas. En las regiones tropicales, las alturas de mezcla por lo general muestran una fuerte variación diurna, reduciéndose durante la noche y elevándose durante el día. La Figura 3-7 muestra la distribución de las alturas de mezcla derivadas del modelo CALMET para la celda que contiene al puerto. La altura de mezcla promedio durante el día fue 566 m sobre el nivel del suelo, con un valor máximo de 1,947 m sobre el nivel del suelo. Las alturas de mezcla más bajas se registran con mayor frecuencia durante la noche, con un promedio de 196 m sobre el nivel del suelo y un valor máximo de 1,902 m sobre el nivel del suelo.

Figura 3-7 Alturas de Mezcla Derivadas del Modelo CALMET para el Puerto

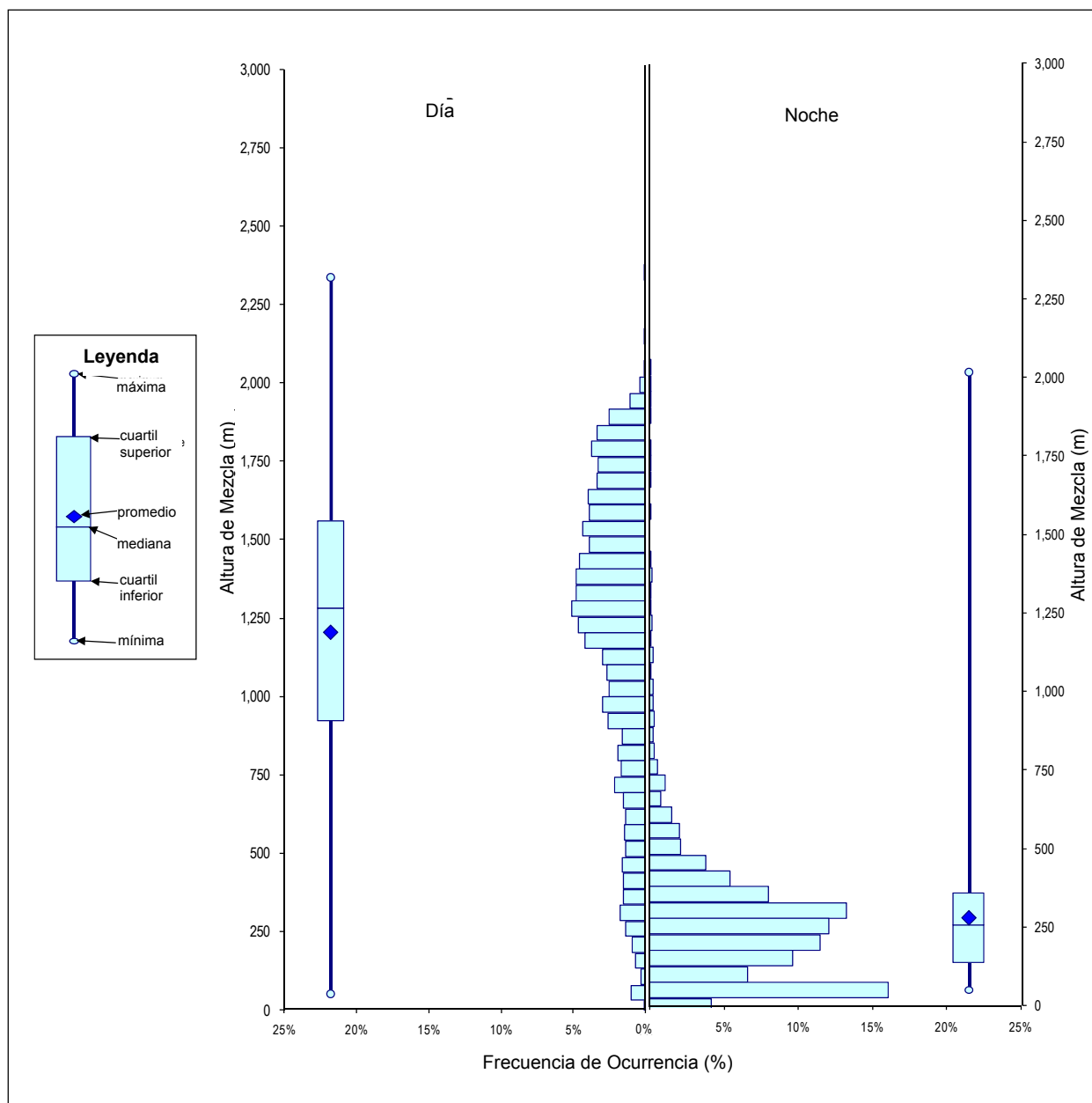


Notas: por ciento = por ciento; m = metros.

La Figura 3-8 muestra la distribución de las alturas de mezcla derivadas del modelo CALMET para la celda que contiene a la planta procesadora de la mina. Las alturas de mezcla de la mina se encuentran distribuidas de manera más amplia y por lo general son mayores que las del puerto. La altura de mezcla promedio durante el día fue 1,205 m sobre el nivel del suelo, con un valor máximo de 2,337 m sobre el nivel del

suelo. Las alturas de mezcla más bajas se registran con mayor frecuencia durante la noche, con un promedio de 280 m sobre el nivel del suelo y un valor máximo de 2,016 m sobre el nivel del suelo.

Figura 3-8 Alturas de Mezcla Derivadas del Modelo CALMET para la Mina



Nota: por ciento = por ciento; m = metros.

3.2.3 Clase de Estabilidad

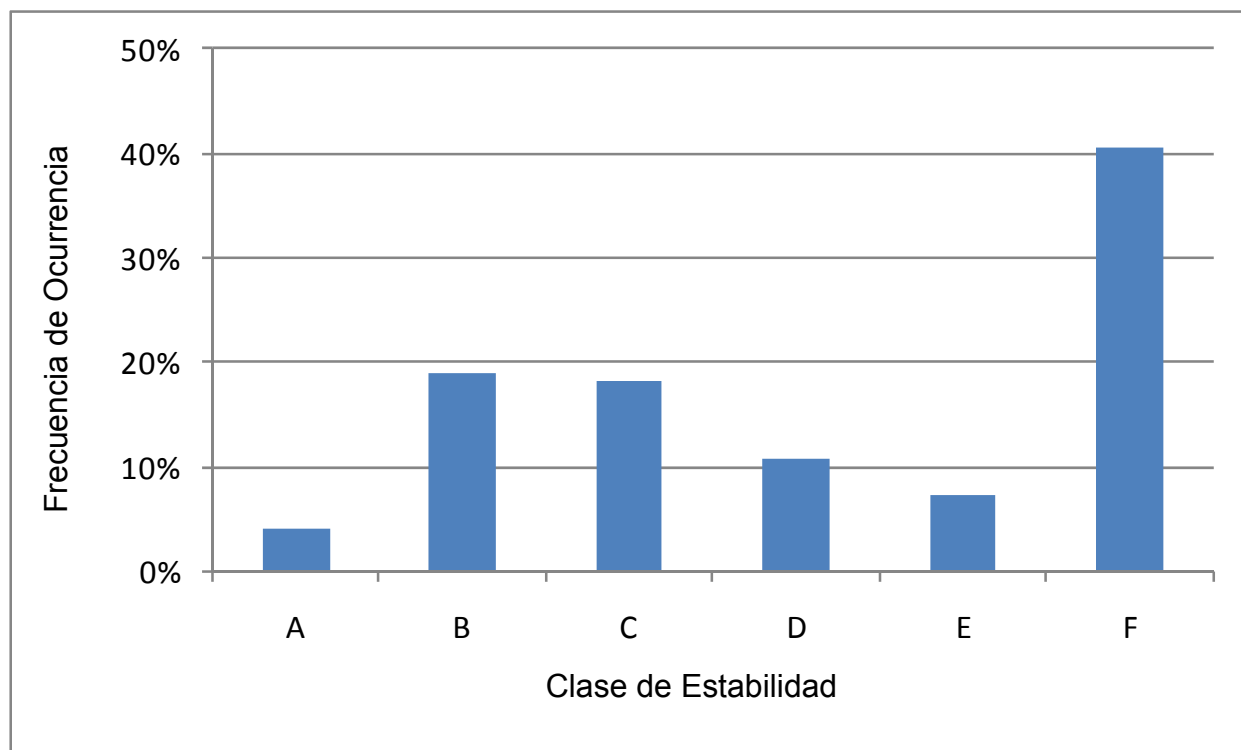
La estabilidad atmosférica puede ser vista como una medida de la capacidad de la atmósfera para dispersar las emisiones. La cantidad de turbulencia desempeña un rol importante en la dilución de una pluma ya que ésta es transportada por el viento. La turbulencia puede ser generada por mecanismos térmicos o mecánicos. El calentamiento o enfriamiento por radiación de la superficie contribuye a la generación o supresión de la turbulencia térmica, mientras que los vientos con velocidades altas contribuyen a la generación de turbulencia mecánica.

El esquema de clasificación de estabilidad Pasquill-Gifford (PG) es uno de los métodos utilizados para clasificar la estabilidad atmosférica. Los rangos de clasificación van desde Inestable (Clases de Estabilidad A, B y C) y Neutral (Clase de Estabilidad D) hasta Estable (Clases de Estabilidad E y F). Las actividades inestables se relacionan principalmente con las condiciones de calentamiento diurno, las cuales provocan el incremento de los niveles de turbulencia (dispersión mejorada). Las condiciones estables se relacionan principalmente con las condiciones de enfriamiento nocturno, las cuales provocan la reducción de los niveles de turbulencia (dispersión deficiente). Las condiciones neutrales se relacionan principalmente con las velocidades del viento más altas o condiciones nubladas.

La Figura 3-9 muestra las condiciones de estabilidad derivadas del modelo CALMET para la celda que contiene al puerto. Las condiciones inestables (A, B y C) ocurren el 41 por ciento del tiempo. Se prevé que las condiciones neutrales (D) y estables (E y F) ocurrirán el 11 por ciento y 48 por ciento del tiempo, respectivamente.

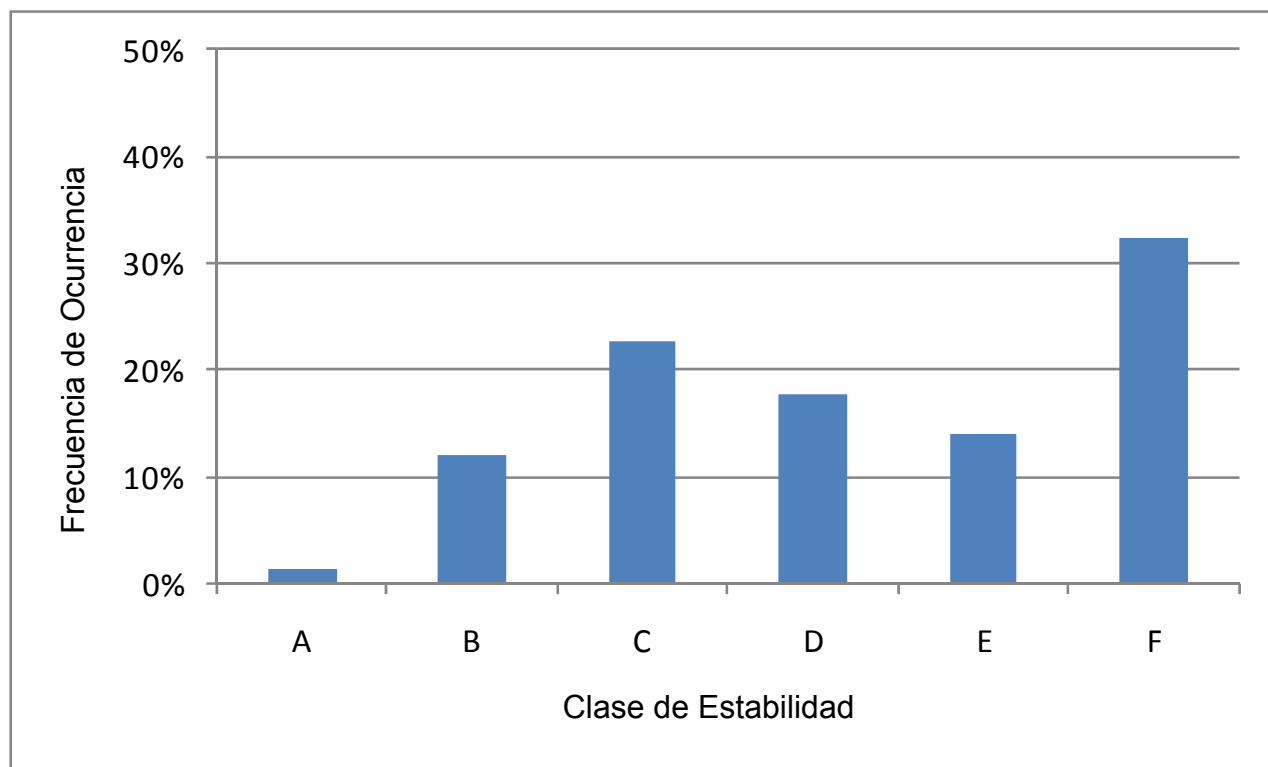
La Figura 3-10 muestra las condiciones de estabilidad derivadas del modelo CALMET para la celda que contiene a la planta procesadora de la mina. Las condiciones inestables (A, B y C) ocurren el 36 por ciento del tiempo. Se prevé que las condiciones neutrales (D) y estables (E y F) ocurrirán el 18 por ciento y 46 por ciento del tiempo, respectivamente.

Figura 3-9 Clases de Estabilidad Pasquill-Gifford Derivadas del Modelo CALMET para el Puerto



Nota: por ciento = por ciento.

Figura 3-10 Clases de Estabilidad Pasquill-Gifford Derivadas del Modelo CALMET para la Mina



Nota: por ciento = por ciento.

4 EMISIONES

El Proyecto consta de dos áreas de actividad principales: el puerto (incluyendo la planta de generación de energía) y la mina. Las distintas actividades que se realicen en cada una de estas áreas provocarán la liberación de emisiones en la atmósfera. Esta sección brinda una visión general de las emisiones del Proyecto.

4.1 PUERTO

El puerto incluirá varias instalaciones: una planta de generación de energía a carbón pulverizado (CP), una planta de filtrado de concentrados, un puerto marino y un campamento de trabajo permanente. Las fuentes de posibles emisiones asociadas al puerto incluyen:

- la chimenea de la caldera a carbón;
- la chimenea del incinerador de residuos del campamento;
- las chimeneas del removedor de partículas de concentrado;
- las chimeneas del removedor de partículas de carbón;
- el escape de las embarcaciones marinas; y
- el tráfico vehicular a lo largo de la carretera a la costa entre el puerto y la mina.

4.1.1 Chimenea de las Calderas a Carbón

La planta de generación de energía a carbón incluirá dos calderas a carbón de 150 megavatios (MW). Los gases del escape de las dos calderas serán liberados desde una sola chimenea, la cual contiene dos conductos individuales que se elevan 125 metros sobre el nivel del terreno. Los contaminantes presentes en las emisiones del escape de la caldera a carbón incluyen: dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), material particulado (PM), compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), metales traza, dioxinas y furanos. El escape de las calderas será tratado mediante un sistema de desulfuración de gases de combustión (DGC) con agua de mar para reducir el SO₂ del escape. Asimismo, las calderas serán equipadas con quemadores de bajo NO_x para minimizar las emisiones de NO_x. Un sistema de filtro de manga controlará el material particulado asociado a la ceniza volante de los gases del escape.

Tanto Panamá como la Corporación Financiera Internacional (CFI) poseen estándares específicos para las emisiones atmosféricas así como normas para las plantas de generación de termoenergía. El Decreto Ejecutivo No. 5 promulgado en Panamá *por*

el cual se dictan *Normas Ambientales de Emisiones de Fuentes Fijas* (Ministerio de Economía y Finanzas 2009) establece los estándares de emisión de SO₂, NO_x y material particulado total para las plantas de generación de termoelectrónica. Las *Normas de Salud, Seguridad y Medio Ambiente para las Plantas de Generación de Termoenergía* de la CFI (CFI 2008) también proporcionan las pautas generales para las emisiones de SO₂, NO_x y material particulado. La Tabla 4-1 presenta una comparación de las emisiones de SO₂, NO_x y PM de las calderas a carbón del Proyecto con las emisiones establecidas por estos estándares y normas. Las emisiones de SO₂, NO_x y PM de las calderas a carbón pulverizado se basaron en el cumplimiento de los estándares panameños y las normas de la CFI.

Tabla 4-1 Resumen de los Criterios Asociados a las Emisiones

Parámetro	Unidad	Decreto Ejecutivo No. 5 de Panamá "Por el cual se dictan Normas Ambientales de Emisiones de Fuentes Fijas" ^(a)	Normas de Salud, Seguridad y Medio Ambiente de la CFI para las Plantas de Generación de Termoenergía ^(b)		Planta de Generación de Energía a Carbón del Proyecto
			Planta de Más de 50MWth y Menos de 600MWth, Cuenca Atmosférica no Degradada ^{(c)(d)}	Planta de Más de 50MWth y Menos de 600MWth, Cuenca Atmosférica Degradada ^{(c)(d)}	
SO ₂	tpd/MW ^(e)	0.2	—	—	0.017
	mg/m ³	—	900 – 1,500	400	400
NO _x	mg/m ³	750	510	200	510
PM	mg/m ³	50	50	30	50

(a) Ministerio de Economía y Finanzas 2009.

(b) CFI 2008.

(c) MWth = aporte de megavatios térmicos en un valor de calentamiento más alto (HHV).

(d) Se debe considerar a la cuenca atmosférica como degradada en caso de que se excedan los estándares de calidad del aire aplicables a nivel nacional o, de no existir tales estándares, si se excede de manera significativa las normas de calidad del aire de la OMS.

(e) tpd/MW = toneladas por día por megavatio.

Nota: CFI = Corporación Financiera Internacional; SO₂ = dióxido de azufre; NO_x = óxidos de nitrógeno; PM = material particulado; mg/m³ = miligramos por metro cúbico; — = no aplicable.

La Tabla 4-4, Sección 4.3, presenta un resumen de las emisiones liberadas por la chimenea de la caldera a carbón pulverizado. La Tabla 4-2 (Sección 4.1.7) detalla los métodos de cálculo de las emisiones y los supuestos utilizados.

4.1.2 Chimenea del Incinerador de Residuos del Campamento

El campamento de trabajo permanente estará ubicado en el puerto y tendrá la capacidad para albergar hasta 100 trabajadores. Los desechos generados por el campamento de trabajo serán quemados en un incinerador de residuos. Los contaminantes primarios de interés liberados por el incinerador son: NO_x, CO, material particulado, metales traza, dioxinas y furanos.

La Tabla 4-4 presenta las tasas de emisión de la chimenea del incinerador. La Tabla 4-2 presenta un resumen de los métodos de cálculo de las emisiones y los supuestos utilizados.

4.1.3 Chimeneas del Removedor de partículas de Concentrado

Una de las posibles fuentes de emisiones de polvo del puerto es la carga de concentrado en los barcos. Las correas transportadoras de concentrado estarán rodeadas por galerías de acero tubulares y vendrán equipadas con sistemas de vacío para la limpieza del interior de las galerías. Se instalará un removedor de partículas húmedo en los principales puntos de transferencia para reducir las emisiones de partículas. El sistema de transporte de concentrado tendrá dos removedores húmedos, uno de ellos en el depósito de almacenamiento de concentrado y el otro en la torre de transferencia 1.

La Tabla 4-3 presenta las tasas de emisión de la chimenea del removedor de partículas de concentrado. La Tabla 4-2 presenta un resumen de los cálculos de las tasas de emisión, incluyendo los métodos de cálculo y los supuestos utilizados.

4.1.4 Chimeneas del Removedor de partículas de Carbón

Otra posible fuente de emisiones de polvo en el puerto es la descarga de carbón de los barcos. Las correas transportadoras de carbón estarán rodeadas por galerías de acero tubulares y vendrán equipadas con sistemas de vacío para la limpieza del interior de las galerías. La torre de transferencia y las áreas de almacenamiento estarán equipadas con removedores húmedos para reducir las emisiones de partículas. El proceso de transporte y almacenamiento de carbón involucrará un total de cinco removedores de partículas. Los removedores de partículas estarán ubicados en la estación de transferencia de carbón #1, estación de transferencia de carbón #2, área de almacenamiento dinámico de carbón y en las instalaciones de la caldera.

La Tabla 4-3 presenta las tasas de emisión de la chimenea del removedor de partículas de carbón. La Tabla 4-2 presenta un resumen de los cálculos de las emisiones así como los métodos y supuestos utilizados.

4.1.5 Escape de las Embarcaciones Marinas

Las emisiones asociadas al escape de las embarcaciones marinas también fueron consideradas como parte de la evaluación de la calidad del aire. Se prevé la circulación de distintos tipos de embarcaciones en el puerto, incluyendo: embarcaciones de suministro de carbón, embarcaciones de concentrado de cobre, remolcadores y barcasas de suministro de combustible, remolcadores y barcasas para contenedores, botes de línea y embarcaciones de diversa índole (por ejemplo, guardacostas). Se consideró dos tipos de emisiones de escape. La primera categoría corresponde a las emisiones generadas por los motores de las embarcaciones mientras éstas se desplazan a baja velocidad al ingresar o salir del puerto. La segunda categoría corresponde a las emisiones generadas por los motores de las embarcaciones mientras éstas se encuentran atracadas en el puerto. Las dos categorías de emisiones se diferencian por el tipo de motor utilizado durante estos dos modos de operación. Cuando la embarcación se encuentra atracada por lo general utiliza motores auxiliares en lugar del (de los) motor(es) de propulsión principales para generar la energía necesaria a bordo para mantener el control de la embarcación y/u operar el equipo de carga (por ejemplo, grúas).

La Tabla 4-4 presenta las tasas de emisión del escape de las embarcaciones marinas. La Tabla 4-2 presenta un resumen de los cálculos de emisiones, así como los métodos y supuestos utilizados.

4.1.6 Tráfico vehicular en la Carretera a la Costa

Durante la fase de operaciones del Proyecto, el tráfico en la carretera a la costa que conecta al puerto con la mina estará asociado principalmente con el transporte de suministros y personal. Las emisiones generadas por el tráfico en la carretera a la costa se pueden dividir en dos categorías: emisiones de los tubos de escape de los vehículos y emisiones de polvo del camino. Los volúmenes de tráfico en la carretera a la costa serán poco significativos en comparación con aquellos que se registrarán en la mina. Todo el polvo que pudiera ser generado por el tráfico en la carretera a la costa será eliminado de manera natural por las precipitaciones en la región. Se implementará medidas de mitigación adicionales, según sea necesario, a través de un plan de mitigación que será puesto en marcha para controlar las emisiones de polvo fugitivo. Por lo tanto, se asume que las emisiones asociadas al tráfico vehicular en la carretera a la costa serán insignificantes para la evaluación de la calidad del aire.

4.1.7 Supuestos y Métodos Para el Cálculo de las Emisiones

La Tabla 4-2 presenta información detallada sobre los controles de las emisiones, las cantidades base del proyecto y los factores de emisión utilizados para realizar el cálculo de las emisiones de las fuentes existentes en el puerto.

Tabla 4-2 Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base para el Puerto

Actividad	Información Utilizada
Chimenea de la Caldera a Carbón	
control de emisiones	DGC con agua de mar, quemadores de bajo NO _x , filtro de manga
cantidades de base	dos calderas a carbón con una potencia de entrada máxima de 1,354 MMBtu/hr tal como lo establece Minera Panamá S.A. (MPSA).
factores de emisión	se calculó la tasa de emisión de SO₂ para cada caldera en base a un caudal de escape máximo de 540,000 Nm³/hr y una concentración de escape máxima de 400 mg/Nm³. se calculó la tasa de emisión de NO_x para cada caldera en base a un caudal de escape máximo y una concentración de escape máxima de 510 mg/Nm³. se calculó la tasa de emisión de PM₁₀ para cada caldera en base a un caudal de escape máximo y una concentración de escape máxima de 50 mg/Nm³. se asumió que las tasas de emisión de PM₁₀ y PM_{2.5} serían equivalentes a 92 por ciento y 53 por ciento de la tasa de emisión de PST con base en la distribución acumulativa del tamaño de partículas especificada en la Tabla 1.1-6, Sección 1.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de CO de 0.5 lb/ton especificado en la Tabla 1.1-3, Sección 1.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). se utilizó un factor de emisión total de COV de 9.19×10^{-3} lb/ton. el factor de emisión total de COV es equivalente a la suma de todos los factores de emisión de COV individuales especificados en la Tabla 1.1-14, Sección 1.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). se utilizó un factor de emisión total de HAP de 2.08×10^{-5} lb/ton. El factor de emisión total de HAP es equivalente a la suma de todos los factores de emisión de HAP individuales especificados en la Tabla 1.1-13, Sección 1.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). se utilizó un factor de emisión total de metales traza de 1.53×10^{-2} lb/ton. El factor de emisión total de metales traza se derivó de los factores de emisión especificados en la Tabla 1.1-18, Sección 1.1

Tabla 4-2 Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base para el Puerto (continuación)

Actividad	Información Utilizada
	del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995) y los datos de composición del carbón proporcionados por MPSA. se utilizó un factor de emisión total de dioxinas y furanos de 2.44×10^{-7} lb/ton. El factor de emisión total de dioxinas y furanos es equivalente a la suma de todos los factores de emisión de grupos individuales de dioxinas y furanos especificados en la Tabla 1.1-12, Sección 1.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995).
Chimenea del Incinerador de Residuos	
control de emisiones	no se tuvo acceso a información detallada sobre el equipo utilizado para el control de emisiones; por lo tanto, no se asumió ningún control de emisiones en los cálculos correspondientes.
cantidades de base	tasa de producción de desechos de 700 kg/d establecida por MPSA.
factores de emisión	factor de emisión de SO₂ de 1.61 kg/Mg de acuerdo con la Tabla 2.1-9, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de NO_x de 1.58 kg/Mg de acuerdo con la Tabla 2.1-9, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de CO de 5 kg/Mg de acuerdo con la Tabla 2.1-12, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de 3.5 kg/Mg de acuerdo con la Tabla 2.1-12, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión total de COV de 1.5 kg/Mg de acuerdo con la Tabla 2.1-12, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). las tasas de emisión de COV y HAP individuales se basaron en los datos de composición del escape de la chimenea establecidos en <i>Identification and Quantification of Volatile Organic Components in Emissions of Waste Incineration Plants (Identificación y Cuantificación de Compuestos Orgánicos Volátiles en Emisiones de las Plantas de Incineración de Residuos)</i> (Jay, K. y Stieglitz, L. 1995). se utilizó un factor de emisión total de metales traza de 8.74×10^{-3} kg/Mg. El factor de emisión total de metales traza es equivalente a la suma de los factores de emisión de componentes metálicos individuales especificados en la Tabla 2.1-9, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). se utilizó un factor de emisión de dioxinas y furanos de 1.47×10^{-6} kg/Mg de acuerdo con la Tabla 2.1-9, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995).

Tabla 4-2 Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base para el Puerto (continuación)

Actividad	Información Utilizada
Chimeneas del Removedor de partículas de Concentrado	
control de emisiones	removedor de partículas húmedo
cantidades de base	caudal de escape de 50,000 acfm y carga de polvo de 0.02 g/ft ³ para la chimenea del removedor de partículas del depósito de almacenamiento de concentrado establecidos por MPSA. caudal de escape de 3,625 acfm y carga de polvo de 0.02 g/ft ³ para la chimenea del removedor de partículas de la Torre de Transferencia 1 establecidos por MPSA.
factores de emisión	se asumió que todas las emisiones de polvo serían equivalentes a PM ₁₀ o menores. No se utilizó ningún factor de emisión para el cálculo de las emisiones. Las tasas de emisión de PM ₁₀ fueron calculadas en función de las cantidades de base.
Chimeneas del Removedor de partículas de Carbón	
control de emisiones	removedor de partículas húmedo
cantidades de base	caudal de escape de 3,625 acfm y carga de polvo de 0.02 g/ft ³ para la chimenea del removedor de partículas de la Torre de Transferencia 4 establecidos por MPSA.
factores de emisión	se asumió que todas las emisiones de polvo serían equivalentes a PM ₁₀ o menores. No se utilizó ningún factor de emisión para el cálculo de las emisiones. Las tasas de emisión de PM ₁₀ fueron calculadas en función de las cantidades de base. Se asumió que las otras chimeneas del removedor de partículas en el proceso de manipulación de carbón tendrán las mismas tasas de emisión que la chimenea del removedor de partículas de la Torre de Transferencia 4.
Escape de Embarcaciones Marinas	
control de emisiones	no se asumió ningún tipo de control de emisiones.
cantidades de base	se asumió que los siguientes tipos de embarcaciones marinas llegarían al puerto: embarcaciones de suministro de carbón, embarcaciones para el transporte de concentrado, remolcadores y barcas para el suministro de combustible, botes de línea y embarcaciones de distinta índole. se asumió que las embarcaciones de suministro de carbón tendrían 50,000 toneladas de peso seco (DWT) con base en las descripciones del proyecto. se asumió que las embarcaciones de transporte de concentrado tendrían 65,000 DWT con base en las descripciones del proyecto. el cálculo del tamaño de los motores de las embarcaciones de suministro de carbón y las embarcaciones de transporte de concentrado se basa en una fórmula relacionada con las DWT de la

Tabla 4-2 Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base para el Puerto (continuación)

Actividad	Información Utilizada
	embarcación y el tamaño de motor especificado en “<i>Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data</i>” (“<i>Análisis de las Emisiones de las Embarcaciones Marinas Comerciales y Datos sobre el Consumo de Combustible</i>”) (US EPA 2000). se asumió que el tamaño del motor de los botes de línea y los remolcadores sería 4,268 hp y 5,046 hp con base en las recomendaciones del <i>Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data</i> (US EPA 2000). se espera que las embarcaciones de suministro de carbón lleguen al puerto dos veces al mes tomando como base la información proporcionada por MPSA. se espera que las embarcaciones de transporte de concentrado lleguen al puerto cinco veces al mes tomando como base la información proporcionada por MPSA. se espera que los remolcadores y las barcasas de suministro de combustible lleguen al puerto tres veces al mes tomando como base la información proporcionada por MPSA. se espera que los remolcadores y las barcasas para contenedores lleguen al puerto cuatro veces al mes tomando como base la información proporcionada por MPSA. Se asumió que las embarcaciones permanecerían una hora en modo de maniobra y tres días en el puerto por cada visita.
factores de emisión	factores de emisión de SO₂ de 9.56 g/hp-hr y 9.69 g/hp-hr de acuerdo con la Tabla 7.1-1 del Documento Regulatorio Final: Control de Emisiones de los Motores de Compresión-Encendido de Embarcaciones Nuevas en o por encima de 30 Litros por Cilindro (US EPA 2003). factores de emisión de NO_x de 17.60 g/hp-hr y 12.38 g/hp-hr de acuerdo con la Tabla 7.1-1 del Documento Regulatorio Final: Control de Emisiones de los Motores de Compresión-Encendido de Embarcaciones Nuevas en o por encima de 30 Litros por Cilindro (US EPA 2003). factores de emisión de CO de 0.82 g/hp-hr y 0.52 g/hp-hr de acuerdo con la Tabla 7.1-1 del Documento Regulatorio Final: Control de Emisiones de los Motores de Compresión-Encendido de Embarcaciones Nuevas en o por encima de 30 Litros por Cilindro (US EPA 2003). factores de emisión de PM de 1.29 g/hp-hr y 1.31 g/hp-hr de acuerdo con la Tabla 7.1-1 del Documento Regulatorio Final: Control de Emisiones de los Motores de Compresión-Encendido de Embarcaciones Nuevas en o por encima de 30 Litros por Cilindro

Tabla 4-2 Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base para el Puerto (continuación)

Actividad	Información Utilizada
	(US EPA 2003). se asumió que todas las emisiones de material particulado del escape del motor de las embarcaciones marinas sería PM₁₀ o menor. factor de emisión de COV de 0.395 g/hp-hr de acuerdo con la Tabla 7.1-1 del Documento Regulatorio Final: Control de Emisiones de los Motores de Compresión-Encendido de Embarcaciones Nuevas en o por encima de 30 Litros por Cilindro (US EPA 2003). no existían factores de emisión de HAP para motores grandes de compresión-encendido de embarcaciones marinas. Por consiguiente, se utilizó el factor de emisión de HAP para motores diesel no viales de gran magnitud como reemplazo. factor de emisión de HAP de 0.0044 kg/m³ de acuerdo con la Referencia Técnica de Meteorología, Emisiones y Calidad del Aire Ambiental en la Región Arenas Petrolíferas de Athabasca (Golder and Conor Pacific 1998).

Notas: DGC = desulfuración de gases de combustión; NO_x = óxidos de nitrógeno; MMBtu/hr = millón de unidades térmicas británicas por hora; SO₂ = dióxido de azufre; PM₁₀ = material particulado con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micrómetros; PST = partículas suspendidas totales; US EPA = Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos; COV = compuestos orgánicos volátiles; lb/ton = libras por tonelada; kg/Mg = kilogramos por megagramo; acfm = pies cúbicos reales por minuto; g/ft³ = gramos por pie cúbico; DWT = toneladas de peso seco; hp = potencia; g/hp-hr = gramos por potencia-hora; kg/m³ = kilogramos por metro cúbico; CO = monóxido de carbono; PAH = hidrocarburos aromáticos policíclicos; PM = material particulado.

4.2 MINA

Las instalaciones de la mina estarán conformadas por los tajos, los depósitos de almacenamiento de residuos, el depósito de relaves, los edificios de la planta concentradora y el molino, el campamento de trabajo, las oficinas y los talleres de mantenimiento. Las posibles fuentes de emisiones de la mina incluyen:

- tubos de escape de la flota minera;
- voladuras;
- trabajos de terreno;
- polvo del camino;

- erosión eólica de las pilas de almacenamiento; y
- chimeneas del incinerador de residuos.

4.2.1 Tubos de Escape de la Flota Minera

Una flota de equipo minero trabajará dentro y cerca de los tajos. La flota minera incluye distintos tipos de equipo, tales como: camiones de acarreo de gran magnitud, excavadoras, taladros y vehículos auxiliares. Se asumió que todo el equipo trabajaría con combustible diesel. Las emisiones transportadas por el viento generadas por los tubos de escape de la flota minera constituyen una de las principales fuentes de emisiones del Proyecto. Se espera que este grupo de fuentes libere los siguientes contaminantes: SO₂, NO_x, CO, material particulado, COVs, HAPs y metales traza.

El equipo minero del Proyecto cumplirá con los estándares de Nivel 2 de la US EPA para los motores diesel no viales (Gobierno de los Estados Unidos, 2004). El enfoque utilizado para regular las emisiones de motores diesel no viales en los Estados Unidos involucró la introducción gradual de estándares de emisión más rigurosos. Los estándares de emisión de Nivel 1 para los motores diesel no viales fueron establecidos inicialmente por la US EPA en el año 1998 (Gobierno de los Estados Unidos 1998). Los estándares de emisión más rigurosos de Fase 2 y 3 fueron adoptados posteriormente para su respectiva implementación entre los años 2001 y 2008 (Gobierno de los Estados Unidos 1998). Los estándares de emisión de Nivel 4 que son mucho más rigurosos fueron adoptados por la US EPA en el año 2004, con un cronograma de incorporación progresiva entre los años 2001 y 2015 para los motores de más de 75 hp (Gobierno de los Estados Unidos 2004). Los estándares de nivel 2 se encontrarán vigentes al inicio del Proyecto.

El cálculo de las emisiones de la flota minera se basó principalmente en los métodos utilizados en el Modelo NONROAD de la US EPA. El modelo NONROAD es una herramienta desarrollada por la US EPA con la finalidad de brindar asistencia a los estados y a las agencias regulatorias locales en la creación de inventarios precisos de emisiones no viales. El modelo proporciona una base de datos de los factores de emisión para un amplio rango de motores diesel no viales de acuerdo con el rendimiento de los motores y los estándares de emisión de estos. Los factores de emisión se obtuvieron a partir de las mediciones de laboratorio de las emisiones de motores totalmente nuevos y se denominan factores de emisión de estado estable y hora cero. El modelo también aplica factores de deterioro para reflejar los efectos del desgaste del motor por el paso del tiempo; así como factores transitorios para reflejar la naturaleza transitoria de la carga y velocidad del motor en aplicaciones reales.

La Tabla 4-4 presenta un resumen de las tasas de emisión de la flota minera. La Tabla 4-3 presenta un resumen de los cálculos de las emisiones, así como las metodologías y supuestos utilizados.

4.2.2 Voladuras

Las voladuras se llevarán a cabo de manera intermitente después del inicio del desarrollo del tajo de la mina. Existen dos tipos de emisiones asociadas a las actividades de voladura en los tajos: emisiones de combustión derivadas de la detonación de explosivos y emisiones de polvo fugitivo derivadas de las explosiones. Es probable que se utilice mezclas de nitrato de amonio y aceite combustible (ANFO) así como iniciadores de pentolita compuestos por 50 por ciento de trinitrotolueno (TNT) y tetranitrato de pentaeritritol (PETN), entre otros explosivos, como agentes detonantes primarios. Las voladuras en los tajos tendrán una corta duración y se realizarán todos los esfuerzos necesarios para reducir las posibles emisiones de polvo fugitivo.

La Tabla 4-4 presenta un resumen de las tasas de emisión de las voladuras. La Tabla 4-3 presenta un resumen de los cálculos de las emisiones, así como los métodos y supuestos utilizados.

4.2.3 Trabajos de Terreno

Es probable que se genere emisiones de polvo durante el desarrollo de los trabajos de terreno (por ejemplo, nivelación, remoción mecánica así como la carga y descarga de los camiones de acarreo). Se espera que estas emisiones se reduzcan de manera natural como resultado de las precipitaciones en la región. MPSA establecerá un plan de control del polvo para minimizar las posibles emisiones de polvo fugitivo generadas por los trabajos de terreno.

La Tabla 4-4 presenta un resumen de las tasas de emisión de los trabajos de terreno. La Tabla 4-3 presenta un resumen de los métodos y supuestos utilizados para el cálculo de las emisiones.

4.2.4 Polvo del Camino

Los vehículos que recorren los caminos de acarreo no pavimentados de la mina podrían generar emisiones de polvo fugitivo. Sin embargo, las precipitaciones que se produzcan en la región reducirán la posible liberación de polvo del camino en la atmósfera. Además, se establecerá un plan de control del polvo para minimizar las posibles emisiones de polvo del camino como resultado de las actividades relacionadas

con el Proyecto. Por lo tanto, se asumió que las emisiones de polvo del camino serían insignificantes para la evaluación de la calidad del aire.

4.2.5 Erosión Eólica de las Áreas o Depósitos de Almacenamiento

La erosión de las las áreas o depósitos de almacenamiento de mineral, roca estéril y saprolita durante la ocurrencia de vientos fuertes podría ser una fuente de emisiones de polvo fugitivo. Las precipitaciones intensas en la región reducirán la posible erosión eólica, pero es probable que se produzca cierta erosión residual. El potencial de erosión fue calculado analizando los datos sobre la velocidad del viento recopilados como parte del programa de monitoreo de línea base. El análisis reveló que la erosión eólica de la pila de almacenamiento no será una fuente continua o significativa de emisiones de polvo fugitivo en el Proyecto. Por consiguiente, se consideró que las emisiones de las pilas de almacenamiento eran insignificantes para la evaluación de la calidad del aire.

4.2.6 Chimenea del Incinerador de Residuos del Campamento

Se asumió que la mina tendrá un campamento de trabajo permanente con la capacidad para albergar hasta 1,000 trabajadores. Los desechos generados por el campamento de trabajo serán quemados en un incinerador de residuos. Las emisiones generadas por el incinerador contendrán los siguientes contaminantes primarios: NO_x, CO, material particulado, metales traza así como dioxinas y furanos.

Las Tabla 4-4 presenta un resumen de las tasas de emisión de la chimenea del incinerador. La Tabla 4-3 presenta un resumen de los cálculos de las emisiones así como los métodos y supuestos utilizados.

4.2.7 Supuestos y Métodos Utilizados para el Cálculo de las Emisiones

La Tabla 4.3 presenta información detallada sobre los controles de las emisiones, las cantidades base del proyecto y los factores de emisión utilizados para realizar el cálculo de las emisiones generadas por las fuentes existentes en la mina.

Tabla 4-3 Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base Para la Mina

Actividad	Información Utilizada
Escape de la Flota Minera	
control de emisiones	se asume que el equipo minero cumplirá con los estándares de emisión de Nivel 2 de la US EPA para motores diesel no viales.
cantidades de base	contenido de azufre del combustible diesel de 2,100 partes por millón por peso (ppmw) con base en las especificaciones de diesel de MPSA. la información de la flota minera, incluyendo el tipo y número de equipos, fue extraída de las descripciones del proyecto. la clasificación de los motores de los equipos mineros se derivó de las descripciones del proyecto. Las clasificaciones de equipos mineros que no pudieron ser encontradas en las descripciones del proyecto fueron obtenidas de los sitios Web de los fabricantes. se asumió que las horas brutas de operación anuales de los camiones de acarreo serían 5,280 hr/a con base en las descripciones del proyecto. se asumió que las horas brutas de operación anuales de los taladros serían 5,688 hr/a con base en las descripciones del proyecto. se asumió que las horas brutas de operación de las excavadoras de roca serían 4,970 hr/a con base en las descripciones del proyecto. se asumió que las horas brutas de operación anuales de las excavadoras de saprolita serían 4,270 hr/a con base en las descripciones del proyecto. se asumió que las horas brutas de operación de los cargadores de neumáticos para roca serían 4,970 hr/a con base en las descripciones del proyecto. se asumió que las horas brutas de operación de los cargadores de neumáticos para saprolita serían 4,536 hr/a con base en las descripciones del proyecto.
factores de emisión	las tasas de emisión de SO₂, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2.5} y COV fueron calculadas utilizando las metodologías establecidas en el modelo NONROAD de la US EPA. Debido a que no se contó con información detallada sobre la flota minera, se trabajó bajo el supuesto conservador de que los motores siempre se encontrarían al final de su vida útil en los cálculos del factor de deterioro. Los factores de carga, factores transitorios, factores de deterioro y factores de emisión fueron obtenidos con base en las metodologías descritas en el modelo NONROAD. Factor de emisión de HAP de 0.0044 kg/m³ de acuerdo con la <i>Referencia Técnica de Meteorología, Emisiones y Calidad del Aire Ambiental en la Región Arenas Petrolíferas de Athabasca</i> (Golder and Conor Pacific 1998).
Voladuras	
control de emisiones	no se asumió ningún tipo de control de emisiones para el cálculo de las emisiones.

Tabla 4-3 Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base para la Mina (continuación)

Actividad	Información Utilizada
cantidades de base	un promedio de 13 voladuras por semana de acuerdo con la información proporcionada por MPSA. consumo diario promedio de agentes detonantes de 82.5 toneladas, incluyendo 77.8 toneladas de nitrato de amonio y 4.7 toneladas de combustible diesel, con base en las descripciones del proyecto. tasa de consumo promedio diario de iniciadores de pentolita de 270 kg, de los cuales, 50 por ciento es TNT y 50 por ciento es PETN, con base en las descripciones del proyecto. se asumió que el área de voladura sería 1,590 m² por voladura de acuerdo con la Tabla 11.9-3, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995).
factores de emisión	se asumió que el agente detonante utilizado es ANFO. factor de emisión de SO₂ de 1 kg/Mg de ANFO de acuerdo con la Tabla 13.3-1, Sección 13.3 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de NO_x de 8 kg/Mg de ANFO de acuerdo con la Tabla 13.3-1, Sección 13.3 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factores de emisión de CO de 34 kg/Mg de ANFO, 398 kg/Mg de TNT y 149 kg/Mg de PETN de acuerdo con la Tabla 13.3-1, Sección 13.3 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de PST de 13.95 kg/voladura derivado de una ecuación establecida en la Tabla 11.9-2, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). se asumió que las tasas de emisión de PM₁₀ y PM_{2.5} serían 52 por ciento y 3 por ciento de las PST, respectivamente, de acuerdo con la Tabla 11.9-2, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995).
Nivelación	
control de emisiones	no se asumió ningún tipo de control de emisiones para el cálculo de las emisiones
cantidades de base	se asumió una velocidad promedio de motoniveladora de 11.4 km/hr de acuerdo con la Tabla 11.9-3, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). se asumió un total de 5,280 hr/a horas brutas de operación anual para las motoniveladoras con base en las descripciones del proyecto.

Tabla 4-3 Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base para la Mina (continuación)

Actividad	Información Utilizada
factores de emisión	el factor de emisión de PST de 1.492 kg/kilómetros vehículo recorridos (VKT) fue calculado con base en la velocidad promedio de la motoniveladora y una ecuación de la Tabla 11.9-2, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). se asumió que el PM₁₀ sería equivalente al 60 por ciento de PM₁₅ de acuerdo con la Tabla 11.9-2, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). se asumió que PM_{2.5} sería equivalente a 3.1 por ciento de PST de acuerdo con la Tabla 11.9-2, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995).
Remoción mecánica	
control de emisiones	no se asumió ningún tipo de control de emisiones para el cálculo de las emisiones
cantidades de base	se asumió un contenido de sedimentos de mineral de 9.5 por ciento de acuerdo con la Tabla 13.2.4-1, Sección 13.2 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). se asumió un contenido de humedad de 4 por ciento con base en las descripciones del proyecto. no existía información disponible sobre el contenido de humedad y sedimentos de roca; por lo tanto, se asumió que estos serían idénticos al contenido de sedimentos y de humedad del mineral. se asumió un contenido de sedimentos de saprolita de 6.9 por ciento de acuerdo con la Tabla 11.9-3, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). se asumió un contenido de humedad de saprolita de 7.9 por ciento de acuerdo con la Tabla 11.9-3, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). el total de 79,200 horas brutas de operación anual de la motoniveladora se derivó de los cálculos de las emisiones de la flota minera.

Tabla 4-3 Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base para la Mina (continuación)

Actividad	Información Utilizada
factores de emisión	remoción mecánica de mineral El factor de emisión de PST de 6.391 kg/hr se derivó de la Tabla 11.9-2, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). Se asumió que el PM₁₀ sería equivalente a 75 por ciento del PM₁₅ de acuerdo con la Tabla 11.9-2, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). Se asumió que el PM_{2.5} sería equivalente a 10.5 por ciento de las PST de acuerdo con la Tabla 11.9-2, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). Remoción mecánica de roca estéril debido a que no se dispuso de información sobre el contenido de sedimentos de la roca estéril y el contenido de humedad, se asumió que los factores de emisión del material particulado de roca estéril serían iguales a los factores de emisión del material particulado de mineral. remoción mecánica de saprolita El factor de emisión de PST de 1.798 kg/hr se derivó de la Tabla 11.9-2, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). Se asumió que el PM₁₀ sería equivalente a 75 por ciento de PM₁₅ de acuerdo con la Tabla 11.9-2, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). Se asumió que el PM_{2.5} sería equivalente a 10.5 por ciento de las PST de acuerdo con la Tabla 11.9-2, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). no se dispuso de información sobre la cantidad de tiempo que las motoniveladoras pasarían extrayendo cada uno de los tres tipos de material (mineral, roca estéril y saprolita). Por lo tanto, se calculó las emisiones generadas por la remoción mecánica utilizando los factores de emisión que generarán las tasas de emisión más conservadoras.
Carga/Descarga	
control de emisiones	no se asumió ningún tipo de control de emisiones para el cálculo de las emisiones
cantidades de base	las tasas de producción máximas anuales de mineral, roca estéril y saprolita de 69,180, 48,591, 11,616 toneladas, respectivamente, se basó en la <i>Actualización del Estudio de Factibilidad en Petaquilla – Plan de la Mina</i> (AMEC 2006). la velocidad promedio del viento de 2.72 m/s se basó en los datos de monitoreo in situ del proyecto. contenido de humedad del mineral de 4 por ciento con base en las descripciones del proyecto. no se dispuso de información sobre el contenido de humedad de la roca estéril; por lo tanto, se asumió que éste era igual al del contenido de sedimentos del mineral.

Tabla 4-3 Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base para la Mina (continuación)

Actividad	Información Utilizada
	se asumió un contenido de humedad de saprolita de 7.9 por ciento de acuerdo con la Tabla 11.9-3, Sección 11.9 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995).
factores de emisión	mineral factor de emisión de PST de 5.901×10^{-4} kg/Mg derivado de la Tabla 13.2.4, Sección 13.2 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de PM_{10} de 2.791×10^{-4} kg/Mg derivado de la Tabla 13.2.4, Sección 13.2 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de $PM_{2.5}$ de 4.227×10^{-5} kg/Mg derivado de la Tabla 13.2.4, Sección 13.2 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). roca estéril debido a que se asumió que el contenido de humedad de la roca estéril era igual al del mineral, se asumió que los factores de emisión de material particulado de la roca estéril serían iguales a los factores de emisión de material particulado del mineral. saprolita factor de emisión de PST de 2.276×10^{-4} kg/Mg derivado de la Tabla 13.2.4, Sección 13.2 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de PM_{10} de 1.076×10^{-4} kg/Mg derivado de la Tabla 13.2.4, Sección 13.2 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de $PM_{2.5}$ de 1.630×10^{-5} kg/Mg derivado de la Tabla 13.2.4, Sección 13.2 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995).
Chimenea del Incinerador de Residuos	
control de emisiones	no se dispuso de información detallada sobre el equipo para el control de emisiones; por lo tanto, no se asumió ningún tipo de control de emisiones en el cálculo de las emisiones.
cantidades de base	tasa de producción de desechos de 7,000 kg/d establecida por MPSA.
factores de emisión	factor de emisión de SO_2 de 1.61 kg/Mg de acuerdo con la Tabla 2.1-9, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de NO_x de 1.58 kg/Mg de acuerdo con la Tabla 2.1-9, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de CO de 5 kg/Mg de acuerdo con la Tabla 2.1-12, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión de PM de 3.5 kg/Mg de acuerdo con la Tabla 2.1-12, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de emisión total de COV de 1.5 kg/Mg de acuerdo con la Tabla 2.1-12, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). las tasas de emisión de los COV y HAP individuales se derivaron de los datos de composición del escape de la chimenea en el documento <i>"Identification and Quantification of Volatile Organic Components in Emissions of Waste Incineration Plants"</i> (Jay, K. y Stieglitz, L. 1995). se utilizó un factor de emisión total de metales traza de 8.74×10^{-3} kg/Mg.

Tabla 4-3 Resumen de los Métodos de Cálculo de las Emisiones y Base para la Mina (continuación)

Actividad	Información Utilizada
	El factor de emisión total de metales traza es equivalente a la suma de los factores de emisión de los componentes metálicos individuales especificados en la Tabla 2.1-9, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995). factor de dioxinas y furanos de 1.47×10^{-6} kg/Mg de acuerdo con la Tabla 2.1-9, Sección 2.1 del documento AP-42 de la US EPA (US EPA 1995).

Notas: US EPA = Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos; ppmw = partes por millón por peso; hr/a = horas por año; SO₂ = dióxido de azufre; NO_x = óxidos de nitrógeno; CO = monóxido de carbono; PM₁₀ = material particulado con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micrómetros; PM_{2.5} = material particulado con un diámetro dinámico inferior a 2.5 micrómetros; VOC = compuestos orgánicos volátiles; kg/m³ = kilogramos por metro cúbico; TNT = trinitrotolueno; PETN = tetranitrato de pentaeritritol; m² = metros cuadrados; kg = kilogramos; ANFO = nitrato de amonio y aceite combustible; Mg = megagramos; TSP = partículas suspendidas totales; m/s = metros por segundo; kg/Mg = kilogramos por megagramo; PAH = hidrocarburos aromáticos policíclicos.

4.3 RESUMEN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS DEL PROYECTO Y DATOS DE LAS FUENTES

La Tabla 4-4 presenta un resumen de las emisiones del Proyecto. En el caso del SO₂, la planta de generación de energía a carbón es la principal fuente de emisiones. En el caso del NO_x, la planta de generación de energía a carbón, la flota minera y las embarcaciones marinas son las principales fuentes de emisiones.

Las Tablas 4-5 y 4-6 presentan una caracterización de las fuentes puntuales y de área modeladas, respectivamente, en la evaluación de la calidad del aire.

Tabla 4-4 Tabla de Resumen de las Emisiones del Proyecto

Fuente	Tasa de Emisión [t/d]									
	SO ₂	NO _x	CO	PM _{2.5}	PM ₁₀	TSP	VOC	PAH	Metales Traza	Dioxinas y Furanos
Puerto										
calderas a carbón	10.368	13.219	0.567	0.747	1.296	1.409	0.010	0.000	0.017	0.000
incinerador de residuos	0.001	0.001	0.004	0.002	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000
removedores de partículas de concentrado	-	-	-	-	1.544	1.544	-	-	1.544	-
removedores de partículas de carbón	-	-	-	-	0.522	0.522	-	-	0.003	-
embarcaciones marinas	0.687	1.095	0.320	0.100	0.100	0.100	0.095	0.000	0.001	-
<i>Subtotal del Puerto^(a)</i>	11.056	14.316	0.890	0.849	3.465	3.577	0.107	0.000	1.566	0.000
Mina										
escape de la flota minera	1.344	7.685	2.526	0.391	0.403	0.403	0.388	0.002	0.004	-
Voladuras	0.083	0.660	2.879	0.001	0.013	0.026	-	-	0.026	-
Nivelación	-	-	-	0.046	0.576	1.968	-	-	1.968	-
remoción mecánica	-	-	-	0.146	0.308	1.387	-	-	1.387	-
carga/descarga	-	-	-	0.011	0.076	0.160	-	-	0.160	-
incinerador de residuos	0.011	0.011	0.035	0.025	0.025	0.025	0.011	0.000	0.000	0.000
<i>Subtotal de la Mina^(a)</i>	1.438	8.356	5.440	0.620	1.401	3.968	0.399	0.002	3.545	0.000
Total del Proyecto^(a)	12.494	22.672	6.330	1.468	4.865	7.546	0.506	0.002	5.111	0.000

^(a) Algunos números han sido redondeados para su presentación. Por lo tanto, podría parecer que los totales no corresponden a la suma de los valores individuales.

Notas: - = no existen emisiones de esta fuente; SO₂ = dióxido de azufre; NO_x = óxidos de nitrógeno; CO = monóxido de carbono; PM_{2.5} = material particulado con un diámetro aerodinámico inferior a 2.5 micrómetros; PM₁₀ = material particulado con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micrómetros; PST = partículas suspendidas totales; COV = compuestos orgánicos volátiles; HAP = hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Tabla 4-5 Caracterización de las Emisiones de las Fuentes Puntuales del Proyecto

Nombre de la Fuente	Descripción de la Fuente	Coordenadas ^(a)		Elevación de Base[m]	Altura de la Chimenea [m]	Diámetro de la Chimenea [m]	Velocidad de Salida [m/s]	Temperatura de Salida [K]	Tasas de Emisión [t/d]	
		Abscisa [m]	Ordenada [m]						SO ₂	NO _x
PWRBOLR1	chimenea de la caldera a carbón – conducto 1	533,879	996,232	54.9	125.0	3.700	18.3	330.40	5.184	6.610
PWRBOLR2	chimenea de la caldera a carbón – conducto 2	533,883	996,232	54.9	125.0	3.700	18.3	330.40	5.184	6.610
PSWINCR	chimenea del incinerador de residuos del puerto	534,165	996,642	48.1	12.2	0.508	5.5	448.15	0.001	0.001
CSBWS	chimenea del removedor de partículas húmedo del depósito de almacenamiento de concentrado	533,808	997,063	41.3	30.1	1.829	9.1	298.15	-	-
CTT1WS	chimenea del removedor de partículas húmedo de la torre de transferencia 1 de concentrado	533,574	997,081	38.5	13.05	0.508	9.1	298.15	-	-
CTB1WS	chimenea del removedor de partículas húmedo de la estación de transferencia de carbón #1	533,705	996,919	44.4	13.05	0.559	9.1	298.15	-	-
CTB2WS	chimenea del removedor de partículas húmedo de la estación de transferencia de carbón #2	533,674	996,110	59.7	13.05	0.559	9.1	298.15	-	-
CLSWS	chimenea del removedor de partículas húmedo del almacenamiento dinámico de carbón	533,669	996,016	61.5	18.05	0.559	9.1	298.15	-	-
CHWS	chimenea del removedor de partículas húmedo de la estación de chancado	533,820	996,117	57.5	13.05	0.559	9.1	298.15	-	-
BBWS	chimenea del removedor de partículas húmedo del edificio de la caldera	533,882	996,424	52.1	56.05	0.559	9.1	298.15	-	-
MRNVSL1	chimenea 1 de las embarcaciones marinas	533,172	997,407	20.5	40	1.6	25.0	555.15	0.345	0.551
MRNVSL2	chimenea 2 de las embarcaciones marinas	533,329	997,087	31.0	20	0.8	25.0	555.15	-	-
MRNVSL3	chimenea 3 de las embarcaciones marinas	533,421	997,172	31.7	20	0.8	25.0	555.15	0.341	0.544
PSWINCR1	chimenea del incinerador de residuos de la planta	540,698	977,988	192.5	12.2	0.813	5.7	448.15	0.011	0.011

^(a) Coordenadas en WGS-84.
Notas: m = metro; m/s = metros por segundo; K = grados Kelvin; SO2 = dióxido de azufre; NOX = óxidos de nitrógeno; t/d = toneladas por día.

Tabla 4-6 Caracterización de las Emisiones de Fuentes de Área del Proyecto

Nombre de la Fuente	Descripción de la Fuente	Coordenadas ^(a)		Área de la Fuente[m²]	Elevación de Base [m]	Altura Efectiva [m]	Sigma z Inicial [m]	Tasas de Emisión [t/d]	
		Abscisa [m]	Ordenada [m]					SO ₂	NO _x
BTJMNFLT	escape de la flota minera, voladuras, nivelación, remoción mecánica y carga/descarga en el Tajo Botija	538,577	977,062	2,139,842	144.23	7.0	7.5	0.984	5.823
BTJLGDMNFLT	escape de la flota minera en el depósito de almacenamiento de mineral de baja ley	536,279	977,060	1,187,873	172.98	7.0	7.5	0.176	1.006
BTJDPMNFLT	escape de la flota minera en el depósito de almacenamiento de roca estéril	538,751	975,077	1,789,991	160.36	7.0	7.5	0.266	1.516

^(a) Las coordenadas especificadas en la tabla representan las coordenadas del centro de las fuentes de área en WGS-84.
Notas: m = metros; m² = metros cuadrados; t/d = toneladas por día; SO2 = dióxido de azufre; NOx = óxidos de nitrógeno.

5 PRONÓSTICOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE

Las emisiones previstas de SO₂ de azufre, NO_x, CO, TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, determinados COVs, determinados HAPs y determinados metales traza generadas por las operaciones del Proyecto fueron incorporadas al modelo de dispersión CALPUFF para establecer las concentraciones a nivel del suelo en el área de estudio. El modelo CALPUFF fue ejecutado en el modo dinámico (3-D) utilizando los datos meteorológicos generados por el modelo CALMET durante un año. La Sección 4.3 presenta una lista de datos de las fuentes consideradas para el modelamiento de dispersión.

Las siguientes secciones presentan información detallada sobre los resultados del proceso de modelado. Todos los resultados corresponden al área predefinida de evaluación de efectos en la calidad del aire.

5.1.1 Pronósticos a Nivel Regional

La Tabla 5-1 presenta un resumen de los resultados del proceso de modelado de SO₂, NO₂, TSP, PM₁₀, PM_{2.5} y CO en el área de evaluación de efectos. Las Figuras 5-1 a 5-12 presentan los resultados de forma gráfica.

Tabla 5-1 Resumen de los Pronósticos Sobre la Calidad del Aire en el Área de Evaluación de Efectos

Parámetro	Periodo Promedio			
	1 Hora	8 Horas	24 Horas	Anual
Dióxido de Azufre (SO₂)				
concentración máxima de SO ₂ [µg/m ³]	1,467.3	-	299.7	89.7
concentración máxima de SO ₂ fuera del área de desarrollo del Proyecto [µg/m ³]	468.8	-	97.7	20.9
distancia hasta la concentración máxima [km] ^(a)	0.7	-	19.8	12.0
dirección hacia la concentración máxima ^(a)	W	-	SSE	SSE
Criterios de SO₂ [µg/m³]	500	-	365	80
Dióxido de Nitrógeno (NO₂)				
concentración máxima de NO _x [µg/m ³]	7,673.9	-	1,606.2	532.7
concentración máxima de NO ₂ [µg/m ³]	823.8	-	198.2	81.5
concentración máxima de NO ₂ fuera del área de desarrollo del Proyecto [µg/m ³]	266.7	-	88.5	40.5
distancia hasta la concentración máxima [km] ^(a)	19.8	-	19.8	20.5

Tabla 5-1 Resumen de los Pronósticos Sobre la Calidad del Aire en el Área de Evaluación de Efectos (continuación)

Parámetro	Periodo Promedio			
	1 Hora	8 Horas	24 Horas	Anual
dirección hacia la concentración máxima ^(a)	SSE	-	SSE	SSE
Criterios de NO₂ [µg/m³]	200	-	150	100
Partículas Suspendidas Totales (PST)				
concentración máxima de PST [µg/m ³]	-	-	555.4	266.5
concentración máxima de PST fuera del área de desarrollo del Proyecto [µg/m ³]	-	-	181.8	35.0
distancia hasta la concentración máxima [km] ^(a)	-	-	1.5	20.5
dirección hacia la concentración máxima ^(a)	-	-	NNW	SSE
Criterios de PST [µg/m³]	-	-	360	90
Material Particulado (PM₁₀)				
concentración máxima de PM ₁₀ [µg/m ³]	-	-	311.0	99.6
concentración máxima de PM ₁₀ fuera del área de desarrollo del Proyecto [µg/m ³]	-	-	185.0	29.5
concentración de PM ₁₀ del percentil 98 [µg/m ³]	-	-	215.0	—
concentración de PM ₁₀ del percentil 98 fuera del área de desarrollo del Proyecto [µg/m ³]	-	-	108.5	—
distancia hasta la concentración del percentil 98 [km] ^(a)	-	-	0.9	0.4
dirección hacia la concentración del percentil 98 ^(a)	-	-	NNE	ESE
Criterios de PM₁₀ [µg/m³]	-	-	150	50
Material Particulado (PM_{2.5})				
concentración máxima de PM _{2.5} [µg/m ³]	-	-	123.3	42.4
concentración máxima de PM _{2.5} fuera del área de desarrollo del Proyecto [µg/m ³]	-	-	39.5	10.2
concentración de PM _{2.5} del percentil 99 [µg/m ³]	-	-	109.0	—
concentración de PM _{2.5} del percentil 99 fuera del área de desarrollo del Proyecto [µg/m ³]	-	-	34.8	—
distancia hasta la concentración del perfil 99 [km] ^(a)	-	-	19.8	20.5
dirección hacia la concentración del perfil 99 ^(a)	-	-	SSE	SSE
Criterios de PM_{2.5} [µg/m³]	-	-	25	10

Tabla 5-1 Resumen de los Pronósticos Sobre la Calidad del Aire en el Área de Evaluación de Efectos (continuación)

Parámetro	Periodo Promedio			
	1 Hora	8 Horas	24 Horas	Anual
Monóxido de Carbono (CO)				
concentración máxima de CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	6,773.2	3,050.5	-	426.7
concentración máxima de CO fuera del área de desarrollo del Proyecto [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1,844.7	1,198.1	-	100.9
distancia hasta la concentración máxima [km] ^(a)	18.5	18.5	-	20.5
dirección hacia la concentración máxima ^(a)	SSE	SSE	-	SSE
Criterios de CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	30,000	10,000	-	-

^(a) La distancia y dirección se miden desde el centro del puerto hasta la concentración máxima o del percentil correspondiente fuera del área de desarrollo del Proyecto.

Notas: SO₂ = dióxido de azufre; $\mu\text{g}/\text{m}_3$ = microgramos por metro cúbico; km = kilómetros; NO₂ = dióxido de nitrógeno; SSE = sur-sudeste; N = norte; PM₁₀ = material particulado con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micrómetros; NNE = nor-noreste; PM_{2.5} = material particulado con un diámetro aerodinámico inferior a 2.5 micrómetros; CO = monóxido de carbono; - no aplicable.

Figura 5-4 Concentraciones Máximas Previstas de Dióxido de Nitrógeno de 1 Hora

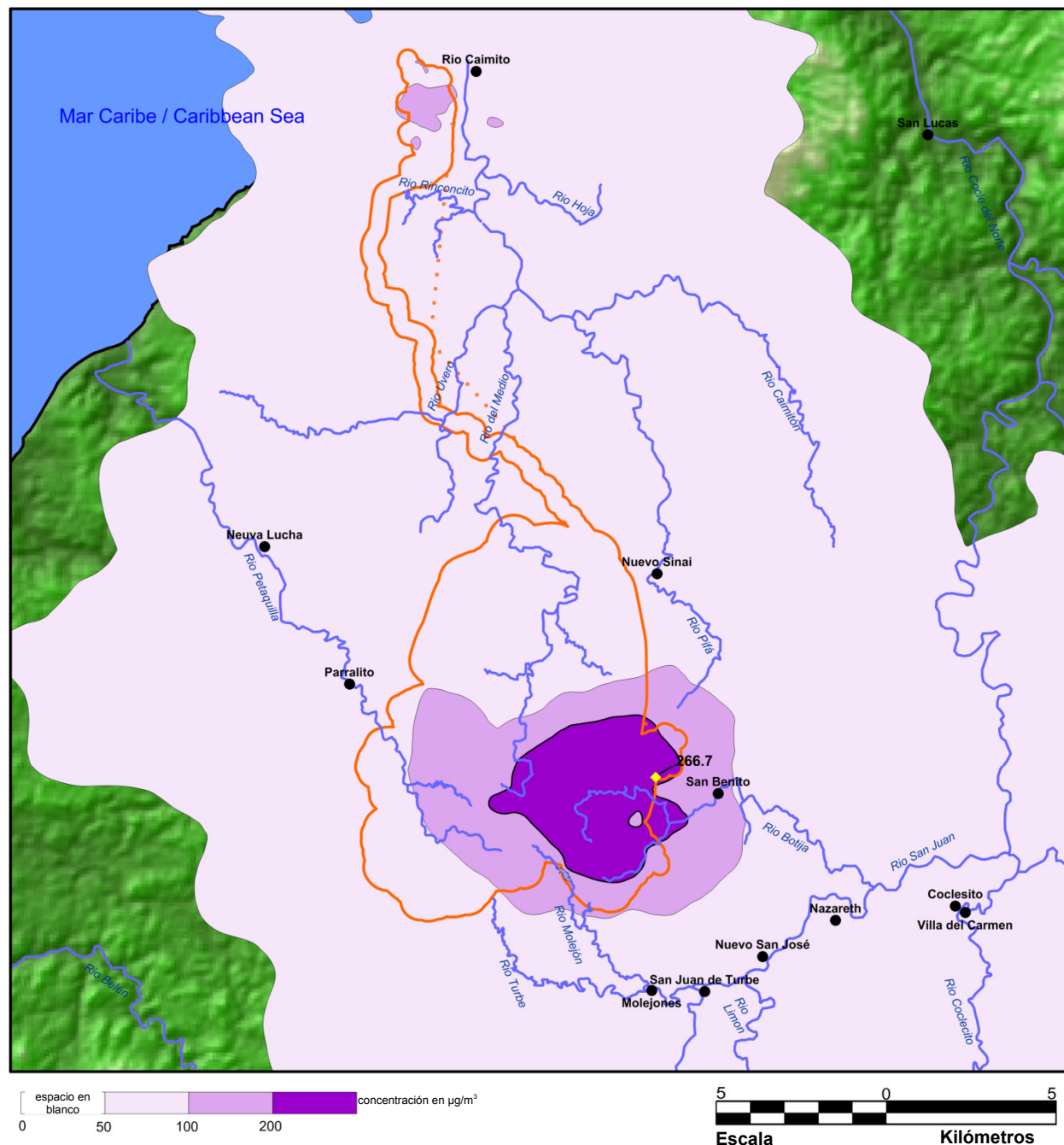


Figura 5-7 Concentraciones Máximas Previstas de Partículas Suspendidas Totales de 24 Horas

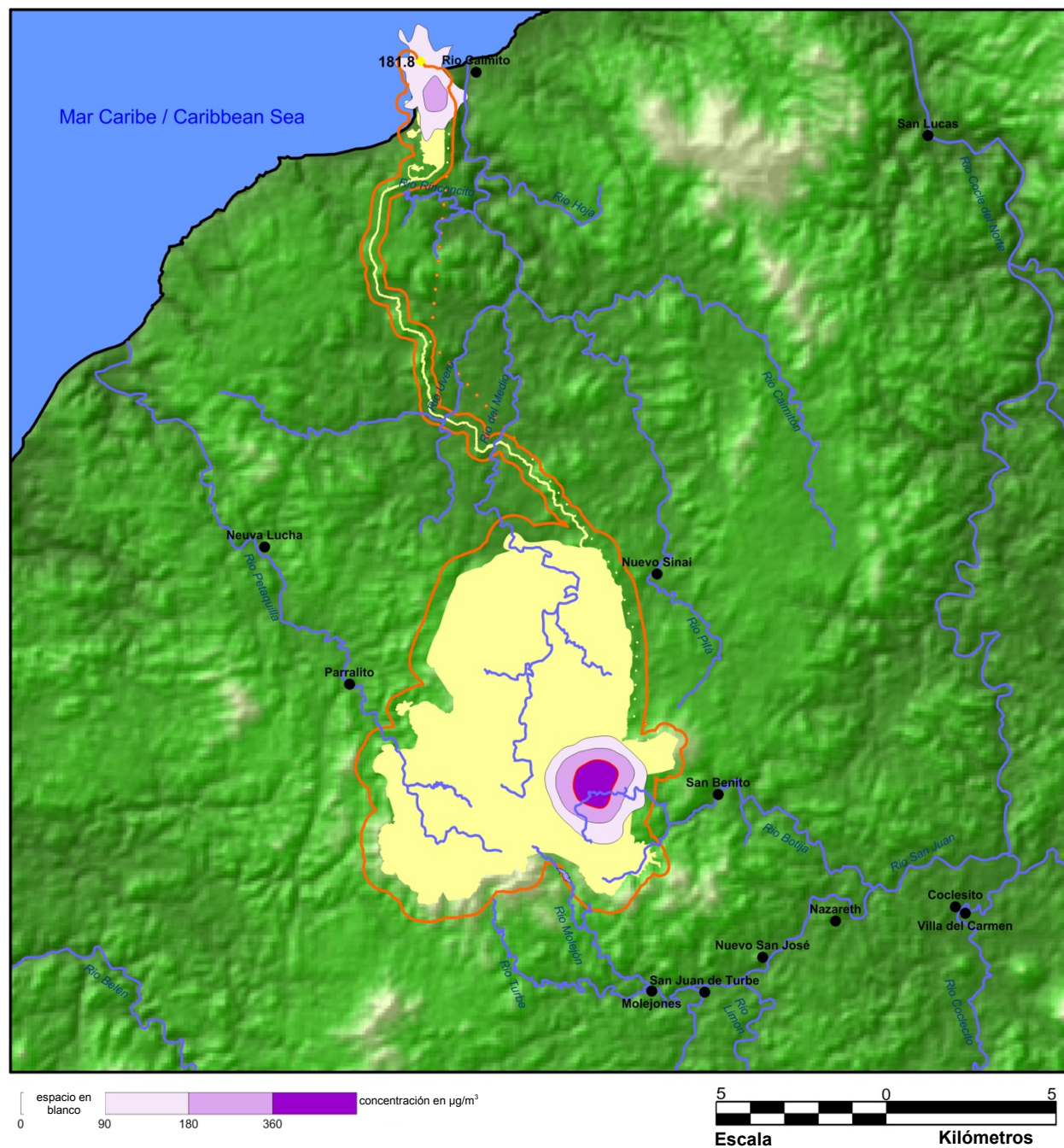


Figura 5-8 Concentraciones Promedio Anuales Previstas de Partículas Suspensas Totales

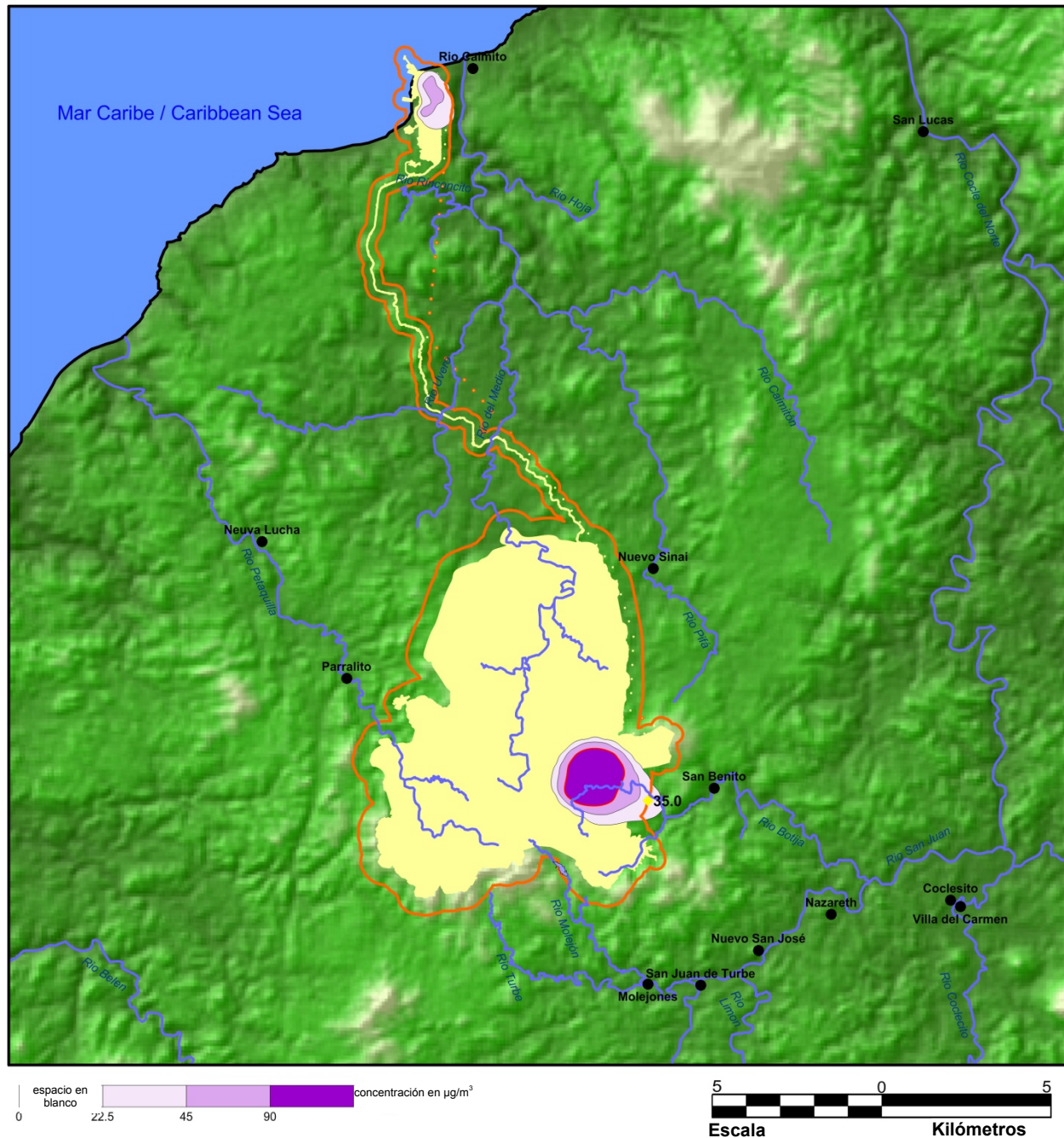


Figura 5-10 Concentraciones Promedio Anuales Previstas de PM₁₀

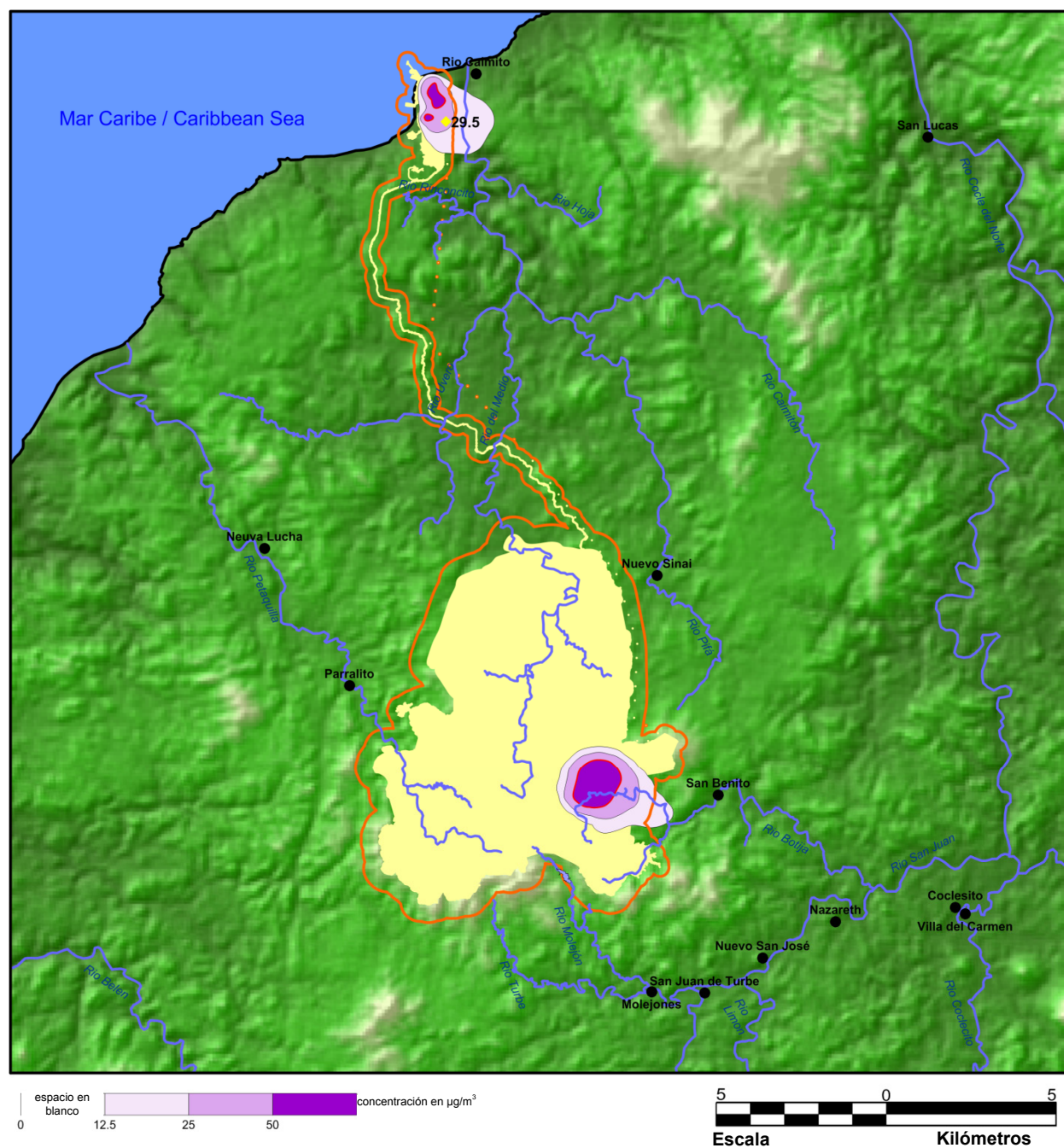
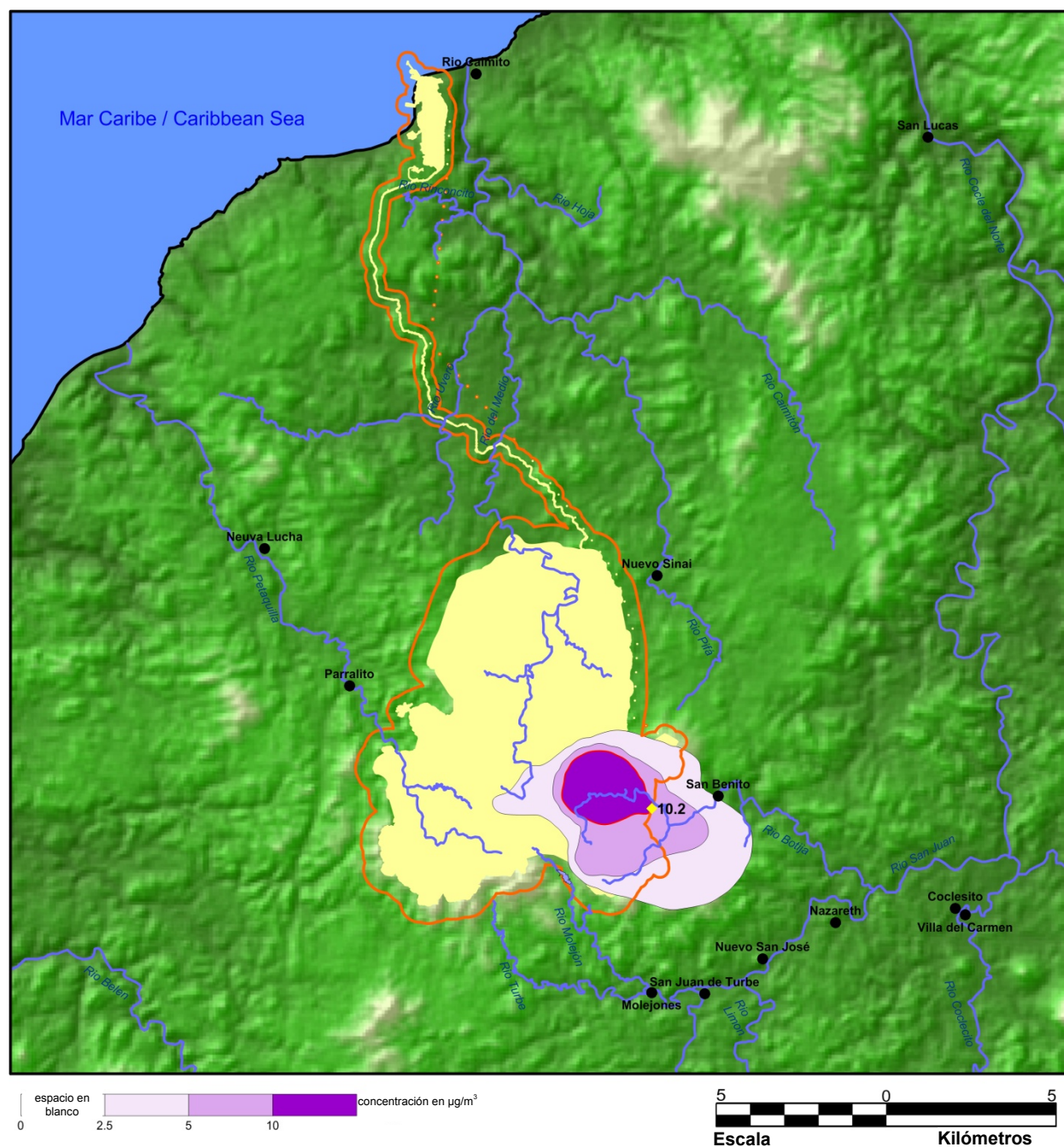


Figura 5-12 Concentraciones Promedio Anuales Previstas de PM_{2.5}



5.1.2 Pronósticos Para los Receptores Sensitivos

5.1.2.1 Compuestos Asociados a los Criterios

Las Tablas 5-2 y 5-3 enumeran las concentraciones previstas de SO₂ y NO₂ como resultado de las emisiones del Proyecto. La Tabla 5-4 enumera las concentraciones previstas de PST, PM₁₀ y PM_{2.5} y la Tabla 5-5 enumera las concentraciones previstas de CO en los receptores sensitivos. Las concentraciones de base derivadas de las actividades comunitarias no fueron incorporadas a los pronósticos pues no se disponía de información sobre la calidad del aire ambiental. Sólo los valores de base de PM₁₀ obtenidos a partir del programa de monitoreo de la calidad del aire de la línea base fueron incorporados a las pronósticos para la comunidad de Río Caimito.

Tabla 5-2 Concentraciones Previstas de Dióxido de Azufre en los Receptores Sensitivos

Receptor (Comunidad)	Concentración de SO ₂ [µg/m ³]		
	Máxima de 1 Hora	Máxima de 24 Horas	Promedio Anual
Río Caimito	151.2	33.1	1.1
ERA4	68.6	8.2	1.6
Palmilla	17.0	3.2	0.1
Nueva Lucha	27.0	3.6	0.3
Parralito	47.7	9.7	0.5
Nuevo Sinaí	35.4	6.2	1.0
San Benito	112.0	27.1	4.1
Los Molejones	37.6	7.4	1.3
Coclesito	15.9	4.3	1.0
HERA_1	47.3	7.9	0.7
HERA_2	25.5	4.2	0.5
HERA_3	60.1	10.5	0.5
área colindante	467.2	97.7	20.9
Criterios de SO₂ [µg/m³]	500	365	80

Nota: Las concentraciones previstas no incluyen los valores de base; SO₂ = dióxido de azufre; µg/m³ = microgramos por metro cúbico.

Tabla 5-3 Concentraciones Previstas de Dióxido de Nitrógeno en los Receptores Sensitivos

Receptor (Comunidad)	Concentración de NO ₂ [µg/m ³]		
	Máxima de 1 Hora	Máxima de 24 Horas	Promedio Anual
Río Caimito	75.6	41.8	1.7
ERA4	65.4	17.1	2.7
Palmilla	37.0	8.1	0.3
Nueva Lucha	65.2	11.0	0.7
Parralito	75.1	39.2	1.2
Nuevo Sinaí	70.7	26.0	2.2
San Benito	112.3	50.4	21.6
Los Molejones	72.4	29.8	5.6
Coclesito	62.9	18.8	4.4
HERA_1	64.3	16.7	1.5
HERA_2	65.5	12.9	1.2
HERA_3	79.3	29.5	1.5
área colindante	266.7	88.5	40.5
Criterios de NO₂ [µg/m³]	200	150	100

Nota: Las concentraciones previstas no incluyen los valores de base; SO₂ = dióxido de azufre; µg/m³ = microgramos por metro cúbico.

Tabla 5-4 Concentraciones Previstas de Material Particulado en los Receptores Sensitivos

Receptor (Comunidad)	Concentración de PST [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		Concentración de PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		Concentración de $\text{PM}_{2.5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	Máxima de 24 Horas	Promedio Anual	Percentil 98 de 24 Horas	Promedio Anual	Percentil 99 de 24 Horas	Promedio Anual
Río Caimito	41.7	3.43	91.3	29.4	2.1	0.2
ERA4	5.7	0.91	7.2	1.2	2.4	0.3
Palmilla	1.0	0.03	0.5	0.0	0.6	0.0
Nueva Lucha	1.2	0.08	1.2	0.1	1.3	0.1
Parralito	1.5	0.11	1.3	0.2	2.0	0.2
Nuevo Sinaí	3.7	0.44	3.2	0.7	2.5	0.3
San Benito	18.7	3.87	11.6	3.1	11.9	2.3
Los Molejones	5.2	0.93	3.0	0.6	3.1	0.6
Coclesito	3.4	0.66	2.0	0.6	2.8	0.7
HERA_1	3.7	0.71	5.1	1.1	1.8	0.2
HERA_2	1.2	0.23	2.3	0.5	2.2	0.2
HERA_3	1.6	0.09	0.9	0.1	2.5	0.2
área colindante	181.8	34.96	108.5	29.5	34.8	10.2
Criterios [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	360	90	150	50	25	10

(a) Los pronósticos establecidos para la comunidad de Río Caimito incluyen concentraciones de base de $54.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para 24 horas, y $25.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para todo el año. Las otras concentraciones previstas no incluyen valores de base.

Notas: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ = microgramos por metro cúbico; PST = partículas totales suspendidas; PM_{10} = material particulado con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micrómetros; $\text{PM}_{2.5}$ = material particulado con un diámetro aerodinámico inferior a 2.5 micrómetros.

Tabla 5-5 Concentraciones Previstas de Monóxido de Carbono en los Receptores Sensitivos

Receptor (Comunidad)	Concentración de CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		
	Máxima de 1 Hora	Máxima de 8 Horas	Promedio Anual
Rio Caimito	44.4	22.4	0.46
ERA4	85.1	47.1	0.84
Palmilla	43.0	25.1	0.14
Nueva Lucha	94.1	30.2	0.46
Parralito	181.4	114.3	0.85
Nuevo Sinaí	149.1	70.1	1.15
San Benito	507.6	268.4	18.12
Los Molejones	142.6	65.9	3.38
Coclesito	60.7	35.0	3.57
HERA_1	92.0	56.3	0.91
HERA_2	102.5	42.3	0.87
HERA_3	226.2	111.5	1.24
área colindante	1,844.7	1,198.1	100.9
Criterios de CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	30,000	10,000	–

Notas: Las concentraciones previstas no incluyen valores de base; CO = monóxido de carbono; $\mu\text{g}/\text{m}^3$ = microgramos por metro cúbico; - = no aplicable.

5.1.2.1 Otros Compuestos Traza

Las Tablas 5-6 a 5-12 presentan un resumen de las concentraciones previstas de 1 hora, 24 horas y anuales de determinados compuestos orgánicos volátiles (COVs), determinados hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y metales traza de los receptores sensitivos como resultado de las emisiones del Proyecto, respectivamente. Las concentraciones de base derivadas de las actividades comunitarias no fueron incorporadas a los pronósticos pues no se disponía de información sobre la calidad del aire ambiental.

Tabla 5-6 Concentraciones Previstas de los Compuestos Orgánicos Volátiles en los Receptores Sensitivos

Parámetro	Rio Caimito	ERA4	Palmilla	Nueva Lucha	Parralito	Nuevo Sinaí
Máxima de 1 Hora [µg/m³]						
benceno	0.047212	0.073055	0.039466	0.078180	0.159790	0.119290
tolueno	0.068751	0.106620	0.057596	0.113540	0.232030	0.173270
etilbenceno	0.008095	0.012531	0.006763	0.013401	0.027399	0.020462
xilenos	0.054275	0.083937	0.045214	0.090004	0.184140	0.137570
acetaldehído	0.715710	1.105100	0.594400	1.189600	2.435200	1.819800
acrolina	0.058222	0.089890	0.048361	0.096781	0.198100	0.148020
formaldehido	0.381820	0.589570	0.317110	0.634660	1.299200	0.970850
propileno	0.013355	0.020622	0.011091	0.022198	0.045441	0.033958
Máxima de 24 Horas [µg/m³]						
benceno	0.010705	0.013914	0.007926	0.009526	0.031405	0.019276
tolueno	0.015665	0.020313	0.011469	0.013796	0.045554	0.027948
etilbenceno	0.001796	0.002386	0.001346	0.001629	0.005380	0.003301
xilenos	0.011502	0.015968	0.008916	0.010920	0.036129	0.022165
acetaldehído	0.145727	0.210060	0.116680	0.144246	0.477681	0.293065
acrolina	0.011928	0.017088	0.009515	0.011742	0.038867	0.023847
formaldehido	0.077724	0.112065	0.062241	0.076953	0.254839	0.156344
propileno	0.002716	0.003920	0.002176	0.002691	0.008913	0.005468
Promedio Anual [µg/m³]						
benceno	0.000936	0.001207	0.000158	0.000480	0.000853	0.001297
tolueno	0.001259	0.001530	0.000209	0.000654	0.001174	0.001770
etilbenceno	0.000149	0.000188	0.000025	0.000079	0.000141	0.000212
xilenos	0.000925	0.001158	0.000161	0.000509	0.000918	0.001360
acetaldehído	0.011810	0.015081	0.002099	0.006695	0.012098	0.017764
acrolina	0.000982	0.001263	0.000174	0.000551	0.000994	0.001465
formaldehido	0.006295	0.008036	0.001119	0.003570	0.006451	0.009472
propileno	0.000219	0.000280	0.000039	0.000125	0.000225	0.000331

Tabla 5-6 Concentraciones Previstas de los Compuestos Orgánicos Volátiles en los Receptores Sensitivos (continuación)

Parámetro	San Benito	Los Molejones	Coclesito	HERA_1	HERA_2	HERA_3	Área colindante
Máxima de 1 Hora [µg/m³]							
benceno	0.375590	0.128530	0.050640	0.077975	0.086033	0.203150	1.396500
tolueno	0.545580	0.187200	0.073579	0.113620	0.124970	0.295100	2.028500
etilbenceno	0.064426	0.022047	0.008686	0.013375	0.014758	0.034841	0.239550
xilenos	0.433150	0.147910	0.058388	0.089700	0.099221	0.234170	1.610600
acetaldehído	5.729400	1.951300	0.772110	1.182800	1.312500	3.096600	21.305000
acrolina	0.466030	0.158720	0.062803	0.096211	0.106760	0.251890	1.732900
formaldehido	3.056600	1.041000	0.411920	0.631030	0.700200	1.652000	11.366000
propileno	0.106910	0.036412	0.014408	0.022072	0.024491	0.057784	0.397550
Máxima de 24 Horas [µg/m³]							
benceno	0.088006	0.021732	0.013085	0.017388	0.011795	0.034062	0.327889
tolueno	0.128143	0.031652	0.019137	0.025167	0.017127	0.049391	0.476284
etilbenceno	0.015081	0.003723	0.002244	0.002974	0.002019	0.005835	0.056244
xilenos	0.101016	0.024920	0.014994	0.019936	0.013524	0.039196	0.378149
acetaldehído	1.331109	0.328151	0.196898	0.263464	0.178390	0.518405	5.002063
acrolina	0.108299	0.026701	0.016017	0.021447	0.014518	0.042180	0.406867
formaldehido	0.710126	0.175065	0.105044	0.140551	0.095166	0.276558	2.668584
propileno	0.024838	0.006123	0.003674	0.004916	0.003328	0.009673	0.093340
Promedio Anual [µg/m³]							
benceno	0.015108	0.003600	0.003164	0.001276	0.000979	0.001263	0.075594
tolueno	0.022640	0.005160	0.004638	0.001835	0.001390	0.001771	0.109755
etilbenceno	0.002582	0.000611	0.000538	0.000214	0.000164	0.000211	0.012958
xilenos	0.016822	0.004059	0.003538	0.001384	0.001067	0.001391	0.087035
acetaldehído	0.214229	0.053484	0.045796	0.017836	0.013888	0.018346	1.150588
acrolina	0.017441	0.004364	0.003733	0.001460	0.001138	0.001503	0.093606
formaldehido	0.114285	0.028530	0.024430	0.009513	0.007407	0.009785	0.613826
propileno	0.003997	0.000997	0.000854	0.000332	0.000259	0.000342	0.021470

Nota: µg/m³ = microgramos por metro cúbico.

Tabla 5-7 Concentraciones Máximas de 1 Hora de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Previstas en los Receptores Sensitivos

Parámetro	Rio Caimito	ERA4	Palmilla	Nueva Lucha	Parralito	Nuevo Sinái
Máxima de 1 Hora [µg/m³]						
acenafteno	0.000082	0.000154	0.000083	0.000166	0.000341	0.000252
acenaftileno	0.000298	0.000561	0.000302	0.000602	0.001237	0.000915
antraceno	0.000053	0.000100	0.000054	0.000107	0.000221	0.000163
benzo(a)fluoreno	0.000016	0.000030	0.000016	0.000032	0.000067	0.000049
benzo(a)pireno	0.000007	0.000013	0.000007	0.000014	0.000029	0.000022
benzo(b)fluoreno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
benzo(b,j,k)fluoranteno	0.000066	0.000123	0.000066	0.000133	0.000272	0.000201
benzo(e)pireno	0.000001	0.000002	0.000001	0.000002	0.000004	0.000003
benzo(g,h,i)perileno	0.000016	0.000030	0.000016	0.000032	0.000067	0.000049
criseno	0.000014	0.000027	0.000014	0.000029	0.000059	0.000044
dibenzo(a,h)antraceno	0.000018	0.000035	0.000019	0.000037	0.000076	0.000057
dibenzotiofeno	0.000137	0.000037	0.000012	0.000020	0.000030	0.000053
difluoranteno	0.000240	0.000432	0.000234	0.000457	0.000936	0.000692
fluoreno	0.000425	0.000798	0.000430	0.000858	0.001761	0.001303
indeno(1,2,3-cd)pireno	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
naftaleno	0.006484	0.012029	0.006493	0.012871	0.026412	0.019541
fenantreno	0.000814	0.000789	0.000433	0.000808	0.001648	0.001216
pireno	0.000326	0.000585	0.000317	0.000620	0.001270	0.000939
7,12-dimetilbenzo(a)antraceno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
dioxinas y furanos	0.000004	0.000002	0.000000	0.000001	0.000001	0.000001

Tabla 5-7 Concentraciones Máximas de 1 Hora de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Previstas en los Receptores Sensitivos (continuación)

Parámetro	San Benito	Los Molejones	Coclesito	HERA_ 1	HERA_ 2	HERA_ 3	Área colindante
Máxima de 1 hora [µg/m³]							
acenafteno	0.000795	0.000273	0.000108	0.000165	0.000183	0.000434	0.002960
acenaftileno	0.002887	0.000992	0.000391	0.000600	0.000666	0.001575	0.010751
antraceno	0.000515	0.000177	0.000070	0.000107	0.000119	0.000281	0.001917
benzo(a)fluoreno	0.000155	0.000053	0.000021	0.000032	0.000036	0.000085	0.000579
benzo(a)pireno	0.000068	0.000023	0.000009	0.000014	0.000016	0.000037	0.000253
benzo(b)fluoreno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
benzo(b,j,k)fluoranteno	0.000635	0.000218	0.000086	0.000132	0.000146	0.000346	0.002365
benzo(e)pireno	0.000010	0.000003	0.000001	0.000002	0.000002	0.000005	0.000036
benzo(g,h,i)perileno	0.000156	0.000054	0.000021	0.000032	0.000036	0.000085	0.000580
criseno	0.000138	0.000047	0.000019	0.000029	0.000032	0.000075	0.000514
dibenzo(a,h)antraceno	0.000178	0.000061	0.000024	0.000037	0.000041	0.000097	0.000664
dibenzotiofeno	0.000158	0.000048	0.000022	0.000032	0.000026	0.000020	0.001649
difluoranteno	0.002183	0.000758	0.000296	0.000459	0.000503	0.001192	0.008128
fluoreno	0.004111	0.001413	0.000557	0.000854	0.000948	0.002242	0.015305
indeno(1,2,3-cd)pireno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000003
naftaleno	0.061634	0.021248	0.008350	0.012851	0.014207	0.033625	0.229470
fenantreno	0.003836	0.001363	0.000521	0.000829	0.000884	0.002099	0.014278
pireno	0.002962	0.001028	0.000402	0.000623	0.000683	0.001617	0.011027
7,12-dimetilbenzo(a)antraceno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
dioxinas y furanos	0.000001	0.000000	0.000000	0.000001	0.000001	0.000000	0.000012

Nota: µg/m³ = microgramos por metro cúbico.

Tabla 5-8 Concentraciones Máximas de 24 Horas de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Previstas en los Receptores Sensitivos

Parámetro	Rio Caimito	ERA4	Palmilla	Nueva Lucha	Parralito	Nuevo Sinái
Máxima de 24 Horas [µg/m³]						
acenafteno	0.000016	0.000029	0.000016	0.000020	0.000067	0.000041
acenaftileno	0.000055	0.000107	0.000058	0.000073	0.000242	0.000148
antraceno	0.000010	0.000019	0.000010	0.000013	0.000043	0.000026
benzo(a)fluoreno	0.000003	0.000006	0.000003	0.000004	0.000013	0.000008
benzo(a)pireno	0.000001	0.000003	0.000001	0.000002	0.000006	0.000003
benzo(b)fluoreno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
benzo(b,j,k)fluoranteno	0.000012	0.000023	0.000013	0.000016	0.000053	0.000033
benzo(e)pireno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001	0.000000
benzo(g,h,i)perileno	0.000003	0.000006	0.000003	0.000004	0.000013	0.000008
criseno	0.000003	0.000005	0.000003	0.000003	0.000012	0.000007
dibenzo(a,h)antraceno	0.000003	0.000007	0.000004	0.000005	0.000015	0.000009
dibenzotiofeno	0.000014	0.000004	0.000002	0.000002	0.000002	0.000008
difluoranteno	0.000048	0.000082	0.000046	0.000055	0.000183	0.000112
fluoreno	0.000079	0.000152	0.000082	0.000104	0.000344	0.000211
indeno(1,2,3-cd)pireno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
naftaleno	0.001196	0.002289	0.001247	0.001559	0.005160	0.003164
fenantreno	0.000123	0.000152	0.000088	0.000099	0.000323	0.000198
pireno	0.000064	0.000112	0.000062	0.000075	0.000248	0.000152
7,12-dimetilbenzo(a)antraceno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
dioxinas y furanos	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Tabla 5-8 Concentraciones Máximas de 24 Horas de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Previstas en los Receptores Sensitivos (continuación)

Parámetro	San Benito	Los Molejones	Coclesito	HERA_ 1	HERA_2	HERA_3	Área colindante
Máxima de 24 horas [µg/m³]							
acenafteno	0.000185	0.000046	0.000027	0.000037	0.000024	0.000073	0.000694
acenaftileno	0.000671	0.000166	0.000100	0.000133	0.000089	0.000263	0.002522
antraceno	0.000120	0.000030	0.000018	0.000024	0.000016	0.000047	0.000450
benzo(a)fluoreno	0.000036	0.000009	0.000005	0.000007	0.000005	0.000014	0.000136
benzo(a)pireno	0.000016	0.000004	0.000002	0.000003	0.000002	0.000006	0.000059
benzo(b)fluoreno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
benzo(b,j,k)fluoranteno	0.000148	0.000037	0.000022	0.000029	0.000020	0.000058	0.000555
benzo(e)pireno	0.000002	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001	0.000008
benzo(g,h,i)perileno	0.000036	0.000009	0.000005	0.000007	0.000005	0.000014	0.000136
criseno	0.000032	0.000008	0.000005	0.000006	0.000004	0.000013	0.000121
dibenzo(a,h)antraceno	0.000041	0.000010	0.000006	0.000008	0.000005	0.000016	0.000156
dibenzotiofeno	0.000043	0.000005	0.000007	0.000006	0.000004	0.000003	0.000573
difluoranteno	0.000515	0.000128	0.000078	0.000101	0.000068	0.000199	0.001907
fluoreno	0.000956	0.000237	0.000142	0.000189	0.000126	0.000375	0.003590
indeno(1,2,3-cd)pireno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
naftaleno	0.014388	0.003564	0.002146	0.002840	0.001899	0.005623	0.053831
fenantreno	0.000936	0.000234	0.000145	0.000179	0.000122	0.000351	0.003350
pireno	0.000699	0.000173	0.000105	0.000137	0.000092	0.000270	0.002587
7,12-dimetilbenzo(a)antraceno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
dioxinas y furanos	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000002

Note: µg/m³ = microgramos por metro cúbico.

Tabla 5-9 Concentraciones Promedio Anuales de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Previstas en los Receptores Sensitivos

Parámetro	Rio Caimito	ERA4	Palmilla	Nueva Lucha	Parralito	Nuevo Sináí
Promedio anual [µg/m³]						
acenafteno	0.000001	0.000001	0.000000	0.000001	0.000002	0.000002
acenaftileno	0.000002	0.000005	0.000001	0.000003	0.000005	0.000007
antraceno	0.000000	0.000001	0.000000	0.000001	0.000001	0.000001
benzo(a)fluoreno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
benzo(a)pireno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
benzo(b)fluoreno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
benzo(b,j,k)fluoranteno	0.000000	0.000001	0.000000	0.000001	0.000001	0.000002
benzo(e)pireno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
benzo(g,h,i)perileno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
criseno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
dibenzo(a,h)antraceno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
dibenzotiofeno	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
difluoranteno	0.000002	0.000004	0.000001	0.000002	0.000004	0.000006
fluoreno	0.000003	0.000007	0.000001	0.000004	0.000008	0.000010
indeno(1,2,3-cd)pireno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
naftaleno	0.000052	0.000101	0.000019	0.000063	0.000118	0.000150
fenantreno	0.000007	0.000009	0.000001	0.000004	0.000008	0.000011
pireno	0.000003	0.000005	0.000001	0.000003	0.000006	0.000008
7,12-dimetilbenzo(a)antraceno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
dioxinas y furanos	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Tabla 5-9 Concentraciones Promedio Anuales de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Previstas en los Receptores Sensitivos (continuación)

Parámetro	San Benito	Los Molejones	Coclesito	HERA_ 1	HERA_ 2	HERA_ 3	Área Colindante
Promedio Anual [µg/m³]							
acenafteno	0.000029	0.000007	0.000006	0.000002	0.000001	0.000002	0.000159
acenaftileno	0.000107	0.000026	0.000022	0.000005	0.000005	0.000009	0.000579
antraceno	0.000019	0.000005	0.000004	0.000001	0.000001	0.000002	0.000103
benzo(a)fluoreno	0.000006	0.000001	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000031
benzo(a)pireno	0.000003	0.000001	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000014
benzo(b)fluoreno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
benzo(b,j,k)fluoranteno	0.000023	0.000006	0.000005	0.000001	0.000001	0.000002	0.000127
benzo(e)pireno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000002
benzo(g,h,i)perileno	0.000006	0.000001	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000031
criseno	0.000005	0.000001	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000028
dibenzo(a,h)antraceno	0.000007	0.000002	0.000001	0.000000	0.000000	0.000001	0.000036
dibenzotiofeno	0.000013	0.000000	0.000002	0.000001	0.000000	0.000000	0.000110
difluoranteno	0.000093	0.000020	0.000018	0.000005	0.000004	0.000007	0.000439
fluoreno	0.000152	0.000038	0.000032	0.000008	0.000007	0.000012	0.000824
indeno(1,2,3-cd)pireno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
naftaleno	0.002376	0.000567	0.000486	0.000121	0.000115	0.000187	0.012359
fenantreno	0.000213	0.000037	0.000038	0.000011	0.000009	0.000012	0.000841
pireno	0.000126	0.000028	0.000025	0.000006	0.000006	0.000009	0.000595
7,12-dimetilbenzo(a)antraceno	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
dioxinas y furanos	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Nota: µg/m³ = microgramos por metro cúbico.

Tabla 5-10 Concentraciones Máximas de 1 Hora de Metales Previstas en los Receptores Sensitivos

Parámetro	Rio Caimito	ERA4	Palmilla	Nueva Lucha	Parralito	Nuevo Sinai
Máxima de 1 hora [µg/m³]						
aluminio	0.157720	0.564490	0.183050	0.435910	0.880970	1.033300
antimonio	0.000265	0.000129	0.000030	0.000045	0.000044	0.000040
arsénico	0.006933	0.002975	0.000690	0.001025	0.000998	0.000912
bario	0.000503	0.001803	0.000584	0.001392	0.002814	0.003301
cadmio	0.004794	0.001748	0.000641	0.001318	0.002629	0.002885
cromo	0.064726	0.014146	0.003102	0.004012	0.004048	0.004753
cromo VI	0.001161	0.000567	0.000130	0.000198	0.000192	0.000174
cobalto	0.001470	0.000750	0.000231	0.000512	0.001017	0.001195
cobre	62.525002	11.459000	2.138700	3.489500	2.076700	3.575900
hierro	0.326720	1.169700	0.379160	0.903360	1.825900	2.141500
plomo	0.045355	0.009895	0.002179	0.002821	0.002083	0.002877
manganeso	0.007203	0.020056	0.006512	0.015479	0.031267	0.036676
mercurio	0.001297	0.000598	0.000138	0.000208	0.000202	0.000254
molibdeno	0.000179	0.000640	0.000207	0.000494	0.000999	0.001172
níquel	0.004161	0.002011	0.000463	0.000700	0.000680	0.000617
selenio	0.019473	0.009347	0.002150	0.003251	0.003155	0.002866
plata	0.000381	0.000303	0.000110	0.000229	0.000459	0.000507
estroncio	0.000688	0.002463	0.000798	0.001903	0.003846	0.004511
talio	0.000000	0.000001	0.000000	0.000001	0.000002	0.000003
titanio	0.005074	0.018167	0.005888	0.014032	0.028363	0.033264
urano	0.000004	0.000013	0.000004	0.000010	0.000020	0.000024
vanadio	0.183970	0.040100	0.008718	0.011263	0.008332	0.011636
zinc	0.002669	0.004669	0.001593	0.003524	0.006998	0.008216

Tabla 5-10 Concentraciones Máximas de 1 Hora de Metales Previstas en los Receptores Sensitivos (continuación)

Parámetro	San Benito	Los Molejones	Coclesito	HERA_ 1	HERA_ 2	HERA_ 3	Área colindante
Máxima de 1 Hora [µg/m³]							
aluminio	3.658200	0.874650	0.463920	0.282190	0.403620	0.358830	13.150000
antimonio	0.000024	0.000029	0.000019	0.000053	0.000025	0.000029	0.000897
arsénico	0.000576	0.000650	0.000445	0.001218	0.000599	0.000670	0.020793
bario	0.011692	0.002793	0.001482	0.000901	0.001289	0.001145	0.042030
cadmio	0.008757	0.002871	0.001378	0.001176	0.001280	0.001286	0.030638
cromo	0.016742	0.004407	0.002164	0.008987	0.002958	0.001851	0.288290
cromo VI	0.000103	0.000125	0.000084	0.000231	0.000110	0.000129	0.003936
cobalto	0.003986	0.001076	0.000549	0.000345	0.000491	0.000461	0.014194
cobre	1.535900	0.941660	0.763570	7.366700	2.316100	1.230600	269.329987
hierro	7.584700	1.812200	0.961370	0.584650	0.836250	0.743180	27.266001
plomo	0.002926	0.001193	0.000725	0.006312	0.002072	0.001412	0.202030
manganeso	0.129670	0.031087	0.016476	0.010030	0.014344	0.012771	0.466040
mercurio	0.000738	0.000152	0.000117	0.000244	0.000125	0.000136	0.008302
molibdeno	0.004151	0.000991	0.000526	0.000320	0.000458	0.000407	0.014922
níquel	0.001648	0.000461	0.000300	0.000820	0.000393	0.000457	0.013952
selenio	0.001713	0.002055	0.001393	0.003811	0.001827	0.002122	0.064912
plata	0.001551	0.000497	0.000240	0.000157	0.000223	0.000223	0.005440
estroncio	0.015979	0.003817	0.002025	0.001231	0.001761	0.001565	0.057446
talio	0.000009	0.000002	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.000033
titanio	0.117830	0.028145	0.014932	0.009080	0.012988	0.011540	0.423600
urano	0.000083	0.000020	0.000011	0.000006	0.000009	0.000008	0.000300
vanadio	0.015766	0.005000	0.002905	0.025260	0.008353	0.005180	0.819470
zinc	0.027383	0.007411	0.003777	0.002375	0.003380	0.003178	0.097505

Nota: µg/m³ = microgramos por metro cúbico.

Tabla 5-11 Concentraciones Máximas de 24 Horas de Metales Previstas en los Receptores Sensitivos

Parámetro	Rio Caimito	ERA4	Palmilla	Nueva Lucha	Parralito	Nuevo Sinai
Máxima de 24 Horas [µg/m³]						
aluminio	0.036498	0.116022	0.024748	0.062129	0.214288	0.188339
antimonio	0.000062	0.000011	0.000003	0.000004	0.000005	0.000004
arsénico	0.001480	0.000331	0.000064	0.000103	0.000117	0.000106
bario	0.000117	0.000370	0.000079	0.000198	0.000685	0.000602
cadmio	0.001301	0.000362	0.000089	0.000209	0.000613	0.000531
cromo	0.016256	0.003158	0.000361	0.000508	0.000992	0.001186
cromo VI	0.000270	0.000049	0.000011	0.000018	0.000020	0.000017
cobalto	0.000344	0.000140	0.000032	0.000077	0.000250	0.000218
cobre	10.937895	2.053169	0.318145	0.416235	0.288871	0.833542
hierro	0.075609	0.240392	0.051258	0.128706	0.444105	0.390342
plomo	0.011388	0.002231	0.000255	0.000372	0.000337	0.000857
manganeso	0.001735	0.004123	0.000881	0.002209	0.007609	0.006686
mercurio	0.000298	0.000058	0.000012	0.000020	0.000022	0.000037
molibdeno	0.000041	0.000132	0.000028	0.000070	0.000243	0.000214
níquel	0.000970	0.000178	0.000041	0.000065	0.000098	0.000089
selenio	0.004477	0.000838	0.000189	0.000302	0.000338	0.000281
plata	0.000069	0.000063	0.000015	0.000036	0.000108	0.000093
estroncio	0.000159	0.000506	0.000108	0.000271	0.000935	0.000822
talio	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001	0.000000
titanio	0.001174	0.003734	0.000796	0.001999	0.006898	0.006063
urano	0.000001	0.000003	0.000001	0.000001	0.000005	0.000004
vanadio	0.046131	0.008926	0.001008	0.001429	0.001256	0.003335
zinc	0.000484	0.000966	0.000218	0.000532	0.001720	0.001502

Tabla 5-11 Concentraciones Máximas de 24 Horas de Metales Previstas en los Receptores Sensitivos (continuación)

Parámetro	San Benito	Los Molejones	Coclesito	HERA_ 1	HERA_ 2	HERA_ 3	Área colindante
Máxima de 24 Horas [µg/m³]							
aluminio	0.842335	0.186329	0.145513	0.064008	0.070775	0.082001	3.254737
antimonio	0.000005	0.000004	0.000003	0.000008	0.000002	0.000005	0.000110
arsénico	0.000134	0.000101	0.000064	0.000203	0.000081	0.000123	0.003827
bario	0.002692	0.000595	0.000465	0.000204	0.000226	0.000262	0.010402
cadmio	0.002143	0.000623	0.000424	0.000277	0.000228	0.000294	0.007837
cromo	0.003938	0.000935	0.000677	0.002184	0.000795	0.000391	0.080233
cromo VI	0.000021	0.000016	0.000011	0.000035	0.000011	0.000022	0.000484
cobalto	0.000939	0.000234	0.000171	0.000080	0.000086	0.000105	0.003555
cobre	0.437313	0.308025	0.242954	1.349944	0.556385	0.186810	41.152176
hierro	1.746277	0.386004	0.301563	0.132600	0.146644	0.169837	6.748145
plomo	0.000724	0.000434	0.000281	0.001542	0.000562	0.000277	0.056331
manganeso	0.029896	0.006636	0.005167	0.002277	0.002515	0.002918	0.115379
mercurio	0.000218	0.000026	0.000032	0.000039	0.000016	0.000024	0.002887
molibdeno	0.000956	0.000211	0.000165	0.000073	0.000080	0.000093	0.003693
níquel	0.000456	0.000107	0.000085	0.000125	0.000046	0.000078	0.002849
selenio	0.000352	0.000278	0.000188	0.000581	0.000188	0.000362	0.008067
plata	0.000373	0.000108	0.000074	0.000037	0.000039	0.000051	0.001389
estroncio	0.003679	0.000813	0.000635	0.000279	0.000309	0.000358	0.014217
talio	0.000002	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000008
titanio	0.027128	0.005995	0.004684	0.002059	0.002278	0.002637	0.104836
urano	0.000019	0.000004	0.000003	0.000001	0.000002	0.000002	0.000074
vanadio	0.003717	0.001647	0.001057	0.006144	0.002237	0.000887	0.227488
zinc	0.006417	0.001594	0.001173	0.000547	0.000591	0.000724	0.024428

Nota: µg/m³ = microgramos por metro cúbico.

Tabla 5-12 Concentraciones Promedio Anuales de Metales Previstas en los Receptores Sensitivos

Parámetro	Rio Caimito	ERA4	Palmilla	Nueva Lucha	Parralito	Nuevo Sinái
Promedio anual [µg/m³]						
aluminio	0.000764	0.002756	0.000315	0.001273	0.001870	0.005123
antimonio	0.000001	0.000002	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001
arsénico	0.000083	0.000055	0.000002	0.000006	0.000009	0.000024
bario	0.000002	0.000009	0.000001	0.000004	0.000006	0.000016
cadmio	0.000117	0.000055	0.000002	0.000008	0.000013	0.000040
cromo	0.001208	0.000386	0.000010	0.000030	0.000041	0.000208
cromo VI	0.000006	0.000008	0.000000	0.000001	0.000002	0.000003
cobalto	0.000012	0.000015	0.000001	0.000003	0.000005	0.000012
cobre	0.727993	0.213652	0.006129	0.015770	0.019369	0.114300
hierro	0.001539	0.005681	0.000652	0.002633	0.003867	0.010598
plomo	0.000862	0.000287	0.000007	0.000021	0.000029	0.000143
manganeso	0.000065	0.000146	0.000014	0.000052	0.000076	0.000203
mercurio	0.000010	0.000010	0.000000	0.000001	0.000002	0.000005
molibdeno	0.000001	0.000003	0.000000	0.000001	0.000002	0.000006
níquel	0.000023	0.000029	0.000002	0.000004	0.000006	0.000015
selenio	0.000115	0.000130	0.000007	0.000017	0.000026	0.000055
plata	0.000004	0.000004	0.000000	0.000001	0.000002	0.000004
estroncio	0.000003	0.000012	0.000001	0.000006	0.000008	0.000022
talio	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
titanio	0.000024	0.000088	0.000010	0.000041	0.000060	0.000164
urano	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
vanadio	0.003413	0.001064	0.000025	0.000073	0.000097	0.000539
zinc	0.000033	0.000040	0.000003	0.000013	0.000020	0.000052

Tabla 5-12 Concentraciones Promedio Anuales de Metales Previstas en los Receptores Sensitivos (continuación)

Parámetro	San Benito	Los Molejones	Coclesito	HERA_ 1	HERA_ 2	HERA_ 3	Área colindante
Promedio anual [µg/m³]							
aluminio	0.151817	0.021743	0.024802	0.001693	0.002122	0.001099	1.077158
antimonio	0.000001	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000033
arsénico	0.000032	0.000014	0.000010	0.000023	0.000011	0.000008	0.001094
bario	0.000485	0.000069	0.000079	0.000005	0.000007	0.000003	0.003443
cadmio	0.000425	0.000111	0.000081	0.000045	0.000023	0.000010	0.002615
cromo	0.000815	0.000151	0.000172	0.000353	0.000148	0.000029	0.016337
cromo VI	0.000002	0.000002	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.000144
cobalto	0.000173	0.000035	0.000031	0.000006	0.000005	0.000004	0.001182
cobre	0.062478	0.026402	0.036527	0.212514	0.093230	0.013058	6.659078
hierro	0.314713	0.044976	0.051396	0.003483	0.004388	0.002270	2.233269
plomo	0.000191	0.000062	0.000062	0.000248	0.000101	0.000022	0.011588
manganeso	0.005400	0.000790	0.000887	0.000070	0.000082	0.000048	0.038204
mercurio	0.000061	0.000003	0.000007	0.000004	0.000002	0.000002	0.000550
molibdeno	0.000172	0.000025	0.000028	0.000002	0.000002	0.000001	0.001222
níquel	0.000133	0.000018	0.000020	0.000007	0.000005	0.000006	0.000626
selenio	0.000047	0.000035	0.000019	0.000029	0.000018	0.000024	0.002493
plata	0.000069	0.000018	0.000013	0.000003	0.000002	0.000001	0.000462
estroncio	0.000663	0.000095	0.000108	0.000007	0.000009	0.000005	0.004705
talio	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000003
titanio	0.004889	0.000698	0.000798	0.000054	0.000068	0.000035	0.034695
urano	0.000003	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000025
vanadio	0.000887	0.000214	0.000256	0.000980	0.000398	0.000069	0.046301
zinc	0.001171	0.000226	0.000203	0.000029	0.000024	0.000014	0.008099

Nota: µg/m³ = microgramos por metro cúbico.

6 ESCENARIOS ADICIONALES MODELADOS

Se evaluó un escenario irregular para el Proyecto en el cual la unidad de desulfuración de gases de combustión (DGC) de las calderas a carbón se encontraba fuera de servicio. Este escenario podría ocurrir durante el mantenimiento programado o durante las secuencias de arranque y apagado.

La tasa de emisión de SO₂ prevista para la chimenea de la caldera con la unidad de DGC desactivada es 47.581 t/d. Se asumió que las otras fuentes del Proyecto se encontraban operativas durante el evento de alteración.

La Tabla 6-1 presenta un resumen de las concentraciones de SO₂ a nivel del suelo asociadas a este escenario. La concentración máxima de 1 hora fuera del área de desarrollo del Proyecto (ADP) es 1,855.6 µg/m³. Debido a que no existen normas nacionales para el SO₂ de 1 hora, se utilizó el criterio de 10 minutos de 500 µg/m³ de la OMS como punto de referencia. Es importante reconocer que la probabilidad de ocurrencia de concentraciones elevadas de SO₂ depende de la ocurrencia de condiciones meteorológicas negativas. Las frecuencias de probabilidad que se muestran en la Tabla 6-1 se basan en el supuesto de que las emisiones anormales se producen de manera continua los 365 días del año. Éstas no consideran la posibilidad de ocurrencia de un evento de alteración de manera simultánea con las peores condiciones meteorológicas.

Tabla 6-1 Concentraciones Previstas de Dióxido de Azufre para el Escenario del Sistema de Desulfuración de Gases de Combustión Inactivo

Parámetro	Concentraciones de 1 Hora que Podrían Producirse Durante una Irregularidad [µg/m ³]					Probabilidad de que la Concentración Máxima Exceda la Norma de 500 µg/m ^{3(a)} [por Ciento]
	Máxima	0.1 por Ciento	1 por Ciento	5 por Ciento	10 por Ciento	
concentraciones previstas, incluyendo el área de desarrollo del Proyecto	4,382.8	1,374.2	621.0	483.6	377.9	4.4
concentraciones previstas fuera del área de desarrollo del Proyecto	2,118.5	1,096.1	610.6	459.8	366.5	3.4

^(a) El criterio de la OMS para el SO₂ de 10 minutos es 500 µg/m³ (OMS 2006).

Nota: µg/m³ = microgramos por metro cúbico; SO₂ = dióxido de azufre; OMS = Organización Mundial de la Salud.

La Tabla 6-2 presenta las concentraciones de SO₂ de 1 hora previstas como resultado de este escenario de alteración en los receptores sensitivos. Las concentraciones máximas previstas en todos los puntos, con excepción de la comunidad de Río Caimito, se encuentran por debajo de la norma de 10 minutos de 500 µg/m³ de la OMS. Existe una probabilidad de 0.03 por ciento de exceder esta norma en la comunidad de Río Caimito.

Tabla 6-2 Concentraciones Previstas de Dióxido de Azufre en los Receptores Sensitivos para el Escenario del Sistema de Desulfuración de Gases de Combustión Inactivo

Receptor	Concentraciones de 1 Hora que Podrían Producirse Durante una Alteración [µg/m ³]					Probabilidad de que la Concentración Máxima Exceda la Norma de 500 µg/m ^{3(a)} [por Ciento]
	Máxima	0.1 por Ciento	1 por Ciento	5 por Ciento	10 por Ciento	
Río Caimito	685.5	395.5	117.1	5.5	1.2	0.03
ERA4	307.0	175.7	66.9	31.7	23.0	0.00
Palmilla	75.4	46.4	17.6	1.8	0.3	0.00
Nueva Lucha	112.1	65.1	24.6	9.0	2.6	0.00
Parralito	105.9	56.9	25.3	12.6	7.2	0.00
Nuevo Sinaí	136.1	81.4	38.8	20.6	14.3	0.00
San Benito	112.0	89.1	60.1	31.7	19.8	0.00
Los Molejones	72.0	45.7	27.9	14.0	10.2	0.00
Coclesito	61.8	34.6	18.8	10.7	7.7	0.00
HERA_1	208.7	131.4	42.8	8.9	4.2	0.00
HERA_2	114.8	53.1	25.4	11.1	4.4	0.00
HERA_3	71.2	48.5	26.0	11.7	7.6	0.00

^(a) El criterio de la OMS para el SO₂ de 10 minutos es 500 µg/m³ (OMS 2006).

Nota: µg/m³ = microgramos por metro cúbico; SO₂ = dióxido de azufre; OMS = Organización Mundial de la Salud.

7 BIBLIOGRAFÍA

- AMEC (AMEC Americas Ltd.). 2006. Petaquilla Feasibility Study Update – Mine Plan.
- Angle, R.P. and S.K. Sakiyama. 1991. Plume Dispersion in Alberta. Standards and Approvals Division, Alberta Environment, Edmonton, Alberta. 428 pp.
- Cole, H.S. and J.E. Summerhays. 1979. A Review of Techniques Available for Estimating Short-Term NO₂ Concentrations. Air Pollution Control Association. US EPA.
- Golder and Conor Pacific (Golder Associates Ltd. and Conor Pacific Environmental Technologies Inc.). 1998. Technical Reference for the Meteorology, Emissions and Ambient Air Quality in the Athabasca Oil Sands Region. Prepared for Suncor Energy Inc. Oil Sands. May 1998.
- IFC (International Finance Corporation). 2008. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Thermal Power Plants. December 19, 2008.
- Jay, K. and L. Stieglitz. 1995. Identification and Quantification of Volatile Organic Components in Emissions of Waste Incineration Plants. Chemosphere, Vol. 30, No. 7: 1249-1260.
- Lott, R.A. 1984. Case Study of Plume Dispersion Over Elevated Terrain. Atmospheric Environment 18(1): 125-134.
- Lott, R.A. 1986. Model Performance – Plume Dispersion Over Elevated Terrain. Atmospheric Environment 20(8) pp. 1547-1554.
- Ministerio de Economía y Finanzas. 2009. Decreto Ejecutivo No. 5 – Por el cual se dictan Normas Ambientales de Emisiones de Fuentes Fijas”. Republica de Panamá.
- Sanhueza, E., E. Fernandez, L. Donoso and J. Romero. 2000. Boundary layer ozone in the tropical America Northern Hemisphere region. J. of Atmos. Chemistry. 35: 249-272.

US Government. 1998. Federal Register. Part II Environmental Protection Agency. Control of Emissions of Air Pollution From Nonroad Diesel Engines; Final Rule. Volume 63, Number 205.

US Government. 2004. Federal Register. Part II Environmental Protection Agency. Control of Emissions of Air Pollution From Nonroad Diesel Engines and Fuel; Final Rule. Volume 69, Number 124.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). 1995. Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume 1: Stationary Point and Area Sources. Document AP-42. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC 27711.

US EPA. 2000. Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data. EPA420-R-00-002. Office of Transportation and Air Quality.

US EPA. 2003. Final Regulation Support Document: Control of Emissions from New Marine Compression-Ignition Engines at or Above 30 Liters per Cylinder. EPA420-R-03-004. Assessment and Standards Division, Office of Transportation and Air Quality.

WHO (World Health Organization). 2006. WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide. Global Update 2005.